ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE

P. HEINY

AIDE-MÉMOIRE
TECHNOR
DELAGRAVE

TECHNIQUES ET **NOR**MALISATION

Collection publiée sous la direction de A. CHEVALIER

Professeur d'E. N. N. A., ex-chef de Fabrication dans l'Industrie

Nouvelle édition
(Mise à jour 1981)

ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE

POUR LE C. A. P. ET LE B. E. P. DE L'ÉLECTROTECHNIQUE

(options **électriciens d'équipement** et **électromécaniciens**)

par

P. HEINY

Ingénieur, sous-directeur d'E. N. N. A.

avec la collaboration de

A. CHEVALIER et R. CLUZEL

Professeurs d'École Normale Nationale d'apprentissage

LIBRAIRIE DELAGRAVE

1981

Sous la direction de A. CHEVALIER,
professeur d'E.N.N.A. - ex-Chef de fabrication dans l'Industrie

COLLECTION

TECHNIQUES ET NORMALISATION

SÉRIE « BATIMENT »

TECHNOR, format 19,5 x 29

- FORMULAIRE DES INSTALLATIONS SANITAIRES,
  par R. DELEBECQUE et C. ROUX
  Tome 1. Eau froide - Tome 2. Eau chaude - Tome 3. Evacuations - fluides divers
- CONFORT DE L'HABITAT - ISOLATION ACOUSTIQUE,
  par R. DELEBECQUE et J. ROMAGNOLI

TECHNOR, format 13,5 x 21

- BATIMENT 1 (Dessin), par R. DELEBECQUE
- BATIMENT 2 (Eléments de construction), par R. DELEBECQUE

Plaquettes TECHNOR, format 11 x 17
par R. DELEBECQUE

A. ARCHITECTURE (avec huit diapositives) - B. COTATION (avec dix diapositives) - C. SANITAIRE - CHAUFFAGE (avec dix diapositives) - D. BETON ARME 1 - E. BETON ARME 2

SÉRIE « INDUSTRIE »

TECHNOR, format 13,5 x 21 cartonnés

- ELECTRICITE APPLIQUEE, par P. HEINY.
- INDUSTRIES DU BOIS, par E. BAILLEUL et J. HEURTEMATTE.
- TECHNIQUE DE L'AUTOMOBILE, par M. DELANETTE.
- TRAVAIL DES PLASTIQUES, par J. ROLLET et E. FONTAINE.
- ELECTRONIQUE APPLIQUEE, par M. BIBAL et P. HEINY.
- MATHEMATIQUES 1, par R. CLUZEL.
- MATHEMATIQUES 2, par R. CLUZEL.
- STATISTIQUE ET PROBABILITE, par P. PACE et R. CLUZEL.
- CHAUDRONNERIE, par A. LETALNET, R. PASQUIER et J. TRIOULEYRE.
- MECANIQUE THEORIQUE ET APPLIQUEE, par M. DELANETTE et H. DUBOIS.
- DEFORMATION PLASTIQUE DES TOLES, par R. QUATREMER.
- AUTOMATISMES 1. RESEAUX DE TRANSMISSION, par H. RIBEROL.
- AUTOMATISMES 2. CIRCUITS DE COMMUTATION, par M. ABATI et P. HEINY.
- ORGANISATION INDUSTRIELLE, par A. CHEVALIER et J. ROLLET.
- MESURES ELECTRIQUES APPLIQUEES, par M. ABATI, R. CHEVEAUX et C. ROUX.

TECHNOR, format 19,5 x 29

- DESSIN DE CONSTRUCTION MECANIQUE, par H. RIBEROL.
- TRAÇAGE EN CHAUDRONNERIE, par J. TRIOULEYRE.
- PROCÉDÉS DE JONCTION, par J. TRIOULEYRE.
- USINAGE SUR MACHINES-OUTILS, par E. LECŒUR et J. PILARD.
- PROCÉDÉS DE FORMAGE, par J. TRIOULEYRE.

PILOTE DU C.A.P.

Réf. 111, MECANICIEN-AJUSTEUR
Réf. 1111, MECANICIEN EN MECANIQUE GENERALE
Réf. 112, TOURNEUR - Réf. 113, FRAISEUR
Réf. 121, ELECTRICIEN D'EQUIPEMENT
Réf. 1112, MECANICIEN D'ENTRETIEN

Le loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1er de l'article 40).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

© DELAGRAVE 1979

TABLE DES MATIÈRES

1re PARTIE. — DOCUMENTATION TECHNIQUE

E		E	
1	Résolution des problèmes.	68	Technologie : termes caractéristique du matériel.
2 à 11	Electrotechnique : courant continu.	69 à 82	Technologie : appareillage électrique.
12	Électrotechnique : magnétisme.	83 à 84	Technologie : production, transport et distribution.
14 à 16	Électrotechnique : électromagnétisme.	85 à 89	Technologie : utilisation de l'énergie (éclairage).
17	Électrostatique.	90 à 96	Technologie : utilisation de l'énergie (chauffage).
18 à 26	Électrotechnique courant alternatif.	97 à 100	Technologie : utilisation de l'énergie (signalisation).
27 à 38	Électrotechnique machines électriques.	101 à 103	Technologie : utilisation de l'énergie (téléphonie).
39 à 40	Électronique.	104 à 108	Technologie : utilisation de l'énergie (force motrice).
41 à 43	Manipulations : appareils de mesure et de comptage.	109 à 111	Technologie : utilisation de l'énergie (automatismes).
44	Manipulations : méthode générale et erreurs de mesure.	112 à 114	Technologie : sécurité dans l'emploi des courants.
45 à 52	Manipulations : mesures électriques.	115 à 138	Technologie : installations électriques.
53 à 56	Manipulations : essais de machines à courant continu.	139 à 141	Technologie : bobinage.
57 à 58	Manipulations : essais de machines à courant alternatif.	142 à 147	Technologie : dépannage.
59 à 65	Technologie : matériaux utilisés en électricité.	148	Technologie : organisation des entreprises.
66 à 67	Technologie : représentation graphique des installations.		

2e PARTIE. — DOCUMENTATION GÉNÉRALE

Doc.		Doc.	
1	Lettres et chiffres.	16	Sinus. Cosinus (suite).
2	Nombres normaux.	17	Tangente. Cotangente.
3	Principales unités.	18	Tangente. Cotangente (suite).
4	Équivalences.	19	Triangle rectangle.
5	Nombres et fractions.	20	Triangle quelconque.
6	Nombres premiers.	21	Arc. Corde. Flèche.
7	Éléments d'algèbre.	22	Arc. Corde. Flèche (suite).
8	Logarithmes.	23	Circonférence.
9	Logarithmes : table.	24	Cercle.
10	Logarithmes : table (suite).	25	Surfaces planes.
11	Carrés.	26	Solides (surf. dévelop.).
12	Carrés (suite).	27	Solides (surf. non dévelop.).
13	Racines carrées.	28	Centre de gravité.
14	Racines carrées (suite).	29	Poids des barres.
15	Sinus. Cosinus.	30	Caractéristiques.

INDEX

Mots	Pages	Mots	Pages	Mots	Pages
Accidents : mesures à prendre	E. 113	Cellule photoélectrique	E. 40	Dangers corporels (électricité)	E. 112
Accumulateurs	E. 11	Chaleur dégagée	E. 6	Décagone	Doc. 25
Acier	Doc. 30	Champ magnétique	E. 12	Degré centésimal	Doc. 3
Aimant	E. 12	Champ tournant	E. 28	Degré de précision	E. 42
Aimant mobile (appareil à)	E. 41	Charge et déch. cond.	E. 17	Démarrage des moteurs à ct ~	E. 30
Aimantation	E. 12(1)	Chauffage	E. 90(1)	Densité de courant	E. 6
Air	Doc. 30	Chauffe-eau	E. 94	Dépannage	E. 142(1)
Alarme électrique	E. 98	Cheval-vapeur	Doc. 3	Déphasage	E. 19
Allongement	E. 59	Chiffre	Doc. 1	Dépolarisation	E. 11
Alternance	E. 18	Chrome	Doc. 30	Diélectrique	E. 60
Alternateur	E. 27	Chute de tension	E. 5	Différence de potentiel	E. 4
Aluminium	Doc. 30	Circonférence	Doc. 23	Diodes	E. 39-51
Ammoniaque	Doc. 30	Circuit capacitif	E. 19	Diphasé (courant)	E. 23
Amont (montage)	E. 46	Circuit déséquilibré	E. 24	Disjoncteurs	E. 80(1)
Ampère	Doc. 30	Circuit électrique	E. 3(1)	Dispatching	E. 84
Ampère	E. 4	Circuit inductif	E. 19-50	Distributeurs	E. 71
Ampère-heure	E. 4	Circuit magnétique	E. 14	Distribution électrique de l'heure	E. 99
Ampèremètre	E. 4-45	Circuit parcouru par un ct ~	E. 19(1)	Distribution (énergie électrique)	E. 84
Ampèretours	E. 13	Circuit résistant	E. 19	Division (cadran)	E. 42
Amplitude	E. 18	Classe de précision	E. 42	Dodécagone	Doc. 25
Antimoine	Doc. 30	Cobalt	Doc. 30	Douilles	E. 70
Appareillage électrique	E. 69(1)	Coefficient de dilatation	E. 59	Duo (montage)	E. 87
Appareils de cuisson	E. 93	Coefficient de température	E. 5	Dynamo	E. 36(1)
Appareils de mesure et comptage	E. 41(1)	Collecteur	E. 36	Dynamos (essais des)	E. 53(1)
Appareils de répartition (éclairage)	E. 88	Commutateurs	E. 72(1)	Dyne	Doc. 3
Arabes (chiffres)	Doc. 1	Comparaison (méthode de)	E. 46		
Arc	Doc. 21	Comptage	E. 50		
Argent	Doc. 30	Compteur	E. 42		
Automatismes	E. 109(1)	Condensateur	E. 17		
Atomes	E. 3	Conducteurs	E. 121(1)	Eau	Doc. 30
Auto-induction	E. 15	Conducteurs chauffants	E. 91	Échelle (appareils de mesure)	E. 42
Autorupteur	E. 74	Conductibilité	E. 59	Éclairage (appareils)	E. 85(1)
Aval (montage)	E. 46	Conduction	E. 90	Éclairement	Doc. 3
		Conduits protecteurs	E. 127	Écouteur téléphonique	E. 101
Balais	E. 36	Cône	Doc. 26	Efficace (valeur)	E. 18
Bande de fréquence	E. 18	Connecteurs	E. 71(1)	Élasticité	E. 59
Bar	Doc. 3	Consigne des mesures	E. 44	Électrodynamique (appareil)	E. 41
Benzine	Doc. 30	Contact (appareillage)	E. 98	Électromagnétisme	E. 13(1)
Bismuth	Doc. 30	Contacteurs	E. 72-77	Électronique	E. 39
Bobinage	E. 139(1)	Convection	E. 90	Électrons	E. 3
Boîtes de dérivation	E. 71	Corde	Doc. 21	Électrostatique (appareil)	E. 17-41
Bougie	Doc. 3	Corps conducteurs et isolants	E. 4	Ellipse	Doc. 25
Bouilloire	E. 93	Correction (appareils de mesure)	E. 42	Ellipsoïde	Doc. 27
Boutons minuterie	E. 73	Cosinus	Doc. 15	Énergie	Doc. 3
Boutons poussoirs	E. 98	Cosinus φ	E. 21	Énergie	E. 2
Bronze	Doc. 30	Cosses	E. 70(1)	Équation	Doc. 3
		Cotangente	Doc. 17	Équations logiques	E. 110
Câbles	E.125-131	Coulomb	Doc. 3	Équipage mobile	E. 42
Calorie	Doc. 3	Coulomb	E. 4	Erg	Doc. 3
Calorie	E. 6	Coupe-circuit	E. 78(1)	Erreurs (de mesure)	E. 44
Canalisations	E. 119(1)	Couple	E. 28	Essais de machines	E. 53(1)
Caoutchouc	Doc. 30	Courant alternatif	E. 18(1)	Étain	Doc. 30
Capacimètre	E. 50	Courant continu	E. 2(1)	Étalonnage	E. 42
Capacitance	E. 19	Courant électrique	E. 3(1)	Étendue de mesure	E. 42
Capacité	E. 19-50	Courant nominal	E. 70	Étoile (montage)	E. 22
Caractéristique (log.)	Doc. 8	Cuisinière	E. 93		
Caractéristiques (essais)	E. 53(1)	Cuivre	E. 49		
Carré	Doc. 11	Cycle	E. 18	Facteur de puissance	E. 21-25
Cartes de réseaux (symboles)	E. 138	Cylindre	E. 30		

(1) Voir aussi les pages suivantes.

INDEX *(suite)*

Mots	Pages
Facteurs premiers	Doc. 6
Farad	E. 19
F. c. e. m. et F. e. m.	E. 8-9
F. e. m. induite	E. 14(1)
Fer	Doc. 30
Fer à repasser	E. 94
Fer à souder	E. 94
Ferromagnétique (appareil)	E. 41
Fiches	E. 75
Flèche	Doc. 21
Flux	Doc. 3
Flux d'induction	E. 13
Fonctions binaires	E. 109
Fonctions logiques	E. 109
Fonte	Doc. 30
Force	Doc. 3
Force	E. 2
Force électromagnétique	E. 15
Force magnétique	E. 12
Foucault (courant de)	E. 15
Four de cuisine	E. 93
Fréquence	E. 18
Fusible (coupe-circuit à)	E. 78
Fusion des métaux (appareils)	E. 95
Gâche électrique	E. 99
Générateur à courant continu	E. 36
Générateurs électriques	E. 2(1)
Générateurs synchrones (alternateurs)	E. 27
Giorgi (système)	Doc. 3
Glissement	E. 28
Gradient de potentiel	E. 60
Graisse	Doc. 30
Grec (alphabet)	Doc. 1
Groupement des générateurs et des récepteurs	E. 9
Groupement des résistances	E. 7(1)
Groupes convertisseurs	E. 34
Guldin (théorème de)	Doc. 27
Henry	E. 15
Hertz	E. 18
Hexagone	Doc. 25
Horloge électrique	E. 99
Huile	Doc. 30
Hydrogène	Doc. 30
Hypoténuse	Doc. 19
Hystérésis	E. 14
Identité	Doc. 7
Impédance	E. 19
Inductance	E. 16-50
Inducteur	E. 27-36
Induction (appareil à)	E. 41
Induction *B*	E. 14-15
Induit	E. 27-36
Installations électriques	E. 115(1)
Instantanée (valeur)	E. 18
Intensité du courant	E. 4
Intensités (mesures des)	E. 45
International (système)	Doc. 2
Interrupteurs	E. 72(1)
Ion	E. 3
Joule	Doc. 3
Joule (loi de)	E. 6
Kilogrammètre	Doc. 3
Kirchhoff (loi de)	E. 10
Laiton	Doc. 30
Lames vibrantes (appareil à)	E. 41
Lampes	E. 85(1)
Latin (alphabet)	Doc. 1
Lenz (loi de)	E. 14
Lettres	Doc. 1
Lignes aériennes	E. 126(1)
Lignes de force	E. 12
Lignes souterraines	E. 137
Limite élastique	E. 59
Logarithme	Doc. 8
Losange	Doc. 25
Lumen	Doc. 3
Lux	Doc. 3
Machines à courant alternatif	E. 27(1)
Machines à courant continu	E. 36(1)
Machines électriques(construc.)	E. 104(1)
Magnétisme	E. 12(1)
Magnétoélectrique (appareil)	E. 41
Manipulations	E. 44(1)
Mantisse (logarithme)	Doc. 8
Matériaux	E. 59(1)
Matériel (effet du courant)	E. 113
Matière (constitution de la)	E. 3
Maximale (Valeur)	E. 18
Maxwell	E. 13
Mercure	Doc. 30
Mesures électriques	E. 44(1)
Mesure et comptage	E. 41(1)
Microphone	E. 101
Minuterie	E. 74
Mise à la terre	E. 114
Molécules	E. 3
Monophasé (courant alternatif)	E. 18(1)
Moteur asynchrone triphasé (essais)	E. 57
Moteurs à courant continu (essais)	E. 56
Moulures	E. 126
M. T. S. (système)	Doc. 3
Neutre	E. 22
Newton	Doc. 3
Nickel	Doc. 30
Nombres premiers	Doc. 6
Noyau	E. 3
Octogone	Doc. 25
Œrsted	E. 14
Ohm	Doc. 3
Ohm (loi d')	E. 5
Ohm (multiples et sous-multiples)	E. 4
Ohm généralisée (loi d')	E. 10
Ohmmètre	E. 46
Onglet	Doc. 26
Onglet sphérique	Doc. 27
Organisation des entreprises	E. 148
Ouverture de porte	E. 99
Oxygène	Doc. 30
Parallélépipède	Doc. 26
Parallélogramme	Doc. 25
Pascal	Doc. 3
Période	E. 18
Perméabilité (coefficient de)	E. 13
Pertes	E. 2
Pertes diélectriques	E. 17
Pétrole	Doc. 30
P. G. C. D.	Doc. 6
Phase	E. 19
Phasemètre	E. 48
Phosphore	Doc. 30
Pièces (procédés d'obtention)	E. 64
Pièze	Doc. 3
Piles	E. 11
Pinces (pour connexion)	E. 71
Plans (architectural, de détail, schématique, théorique)	E. 67
Plaques à bornes	E. 71
Platine	Doc. 30
Plomb	Doc. 30
Poids	Doc. 29
Poids spécifique	E. 59
Polarisation	E. 11
Polarité	E. 13
Pôles (nord et sud)	E. 12
Polyphasé (courant alternatif)	E. 22
Pont de Sauty	E. 50
Pont de Wheatstone	E. 47
Potentiel	E. 4
Pouce	Doc. 4

(1) Voir aussi les pages suivantes.

INDEX *(suite)*

Mots	Pages
Pouvoir (coupure et fermeture)	E. 70
P.P.C.M.	Doc. 6
Pression	Doc. 3
Prévention des accidents	E. 112
Prise de courant	E. 72-75
Prise de terre	E. 114
Prisme	Doc. 26
Production (énergie électrique)	E. 83
Progressions	Doc. 7
Prolongation	E. 72-75
Proportions	Doc. 7
Propriétés des matériaux	E. 59
Protection par mise à la terre	E. 114
Puissances : active, apparente, réactive	E. 21-23
Puissance mécanique	E. 2
Puissance récepteurs thermiques	E. 6
Puissance (mesure des)	E. 48
Pulsation	E. 18
Pyramide	Doc. 26
Quadrilatères	Doc. 25
Quantité d'électricité	E. 4
Raccords de jonction (domino)	E. 71
Racine carrée	Doc. 13
Racine d'une équation	Doc. 7
Radian	Doc. 3
Radianparseconde	E. 18
Radiation	E. 90
Réactance de capacitéetd'induction	E. 19
Récepteur	E. 2-9
Réchaud	E. 93
Rectangle	Doc. 25
Redresseur (appareil à)	E. 41
Redresseurs	E. 34
Règle des trois doigts de la main gauche (et de la main droite)	E. 15
Règlements de pose des canalisations	E. 126[1]
Relais	E. 80-98
Renard (série)	Doc. 2
Rendement	E. 2
Représentation graphique des installations	E. 67[1]
Réseau	E. 84
Résistance additionnelle	E. 41
Résistance à la rupture et au choc	E. 59
Résistance électrique	E. 4
Résistance inductive (circuit)	E. 19
Résistances (groupement des)	E. 7-8
Résistances (mesure des)	E. 46[1]
Résistances non inductives(circuit)	E. 19
Résistance non linéaires	E. 39-51
Résistance prise de terre	E. 52
Résistances (réglage)	E. 82
Résistivité	E. 5
Résonance	E. 20
Rhéostat	E. 82
Rigidité diélectrique	E. 60
Romains (chiffres)	Doc. 1
Rosaces à plots	E. 71
Rotor	E. 27[1]
Rupteurs	E. 72
Schémas	E. 65
— chauffage	E. 96
— éclairage	E. 89
— force motrice	E. 106
— signalisation	E. 100
— téléphonie	E. 102[1]
Sèche-cheveux	E. 94
Secteur sphérique	Doc. 27
Sectionneurs	E. 72[1]
Sécurité dans l'emploi des courants	E. 112[1]
Segment de cercle	Doc. 21
Segments paraboliques	Doc. 25
Semi-conducteurs	E. 39
Serre-câbles	E. 71
Shunt	E. 41
Signalisation	E. 97[1]
Semi-conducteurs	E. 51
Sinus	Doc. 15
Sinusoïdales (grandeurs)	E. 18-22
Sonneries	E. 97
Soudage (appareil de)	E. 95
Soufre	Doc. 30
Spectremagnétique	E. 12
Sphère	Doc. 27
Spires	E. 13
Spires par m	E. 13
Stator	E. 27[1]
Sthène	Doc. 3
Symboles	E. 66-67
Système international (SI)	Doc. 3
Tableaux annonc	E. 98
Tangente	Doc. 17
Targette	E. 74
Téléphonie	E. 101[1]
Télérupteur	E. 74
Température (matériaux)	E. 59
Ténacité	E. 59
Tension	E. 4
Tension composée et simple	E. 22
Tension nominale	E. 70
Tensions (mesure)	E. 34-45
Termes caractéristiques du matériel	E. 68
Tesla	E. 13
Thermie	Doc. 3
Thermie	E. 6
Thermique (appareil)	E. 41
Thermistance	E. 39
Thermo-couple (appareil à)	E. 41
Thermo-plongeur	E. 93
Tissus chauffants	E. 94
Tore	Doc. 27
Traitements thermiques et chimiques	E. 96
Transformateurs	E. 32[1]
Transformateurs (essais)	E. 58
Transformation des ct ~ en ct -	E. 34[1]
Transistor	E. 40-51
Transport (de l'énergie électrique)	E. 84
Trapèze	Doc. 25
Travail	E. 2
Triangle (montage)	E. 22
Triphasé (courant)	E. 22-49
Tungar	E. 35
Usine électrique	E. 83
Utilisation de l'énergie électrique	E. 85[1]
Vanadium	Doc. 30
Vapeur de mercure (redresseur à)	E. 35
Vitesse angulaire	E. 18
Vocabulaire électrotechnique (production, transport, distribution)	E. 138
Volt	Doc. 3
Volt (multiples et sous-multiples)	E. 4
Volt-ampère	E. 21
Volt ampèremétrique (méthode)	E. 46
Volt ampère réactif	E. 21
Voltmètre	E. 4
Voltmètre (étalonnage)	E. 45
Voltmètre (méthode du)	E. 47
Watt	Doc. 3
Watt	E. 21
Wattmètre (emploi)	E. 48
Wéber	E. 13
Wéber par m^2	E. 13
Zinc	Doc. 30

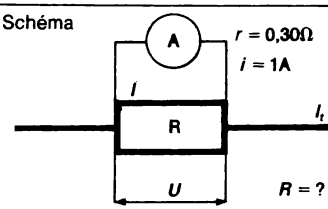
[1] Voir aussi les pages suivantes.

ÉLECTROTECHNIQUE

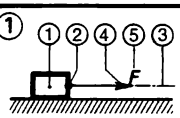
I. COURANT CONTINU
II. MAGNÉTISME
III. ÉLECTROMAGNÉTISME
IV. ÉLECTROSTATIQUE
V. COURANT ALTERNATIF
VI. MACHINES ÉLECTRIQUES
VII. ÉLECTRONIQUE

E. 1 RÉSOLUTION DES PROBLÈMES D'ÉLECTROTECHNIQUE (1)

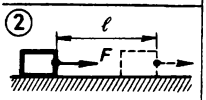
Afin de permettre une résolution aisée et sans hésitation des problèmes, il est important d'utiliser une méthode rigoureuse qui fait apparaître un déroulement logique. Il est donc indispensable d'étudier l'exposé ci-dessous avant d'aborder un problème d'électricité. Un exemple d'application concrétise la méthode de résolution.

MÉTHODE	APPLICATION
1. Lire l'énoncé entièrement pour avoir une idée générale sur le sujet.	**1.** Un ampèremètre de résistance intérieure 0,30 Ω mesure une intensité maximale de 1 A. Quelle doit être la résistance du shunt permettant d'obtenir un calibre de 5 A ?
2. Relire l'énoncé en effectuant (si possible) un schéma sur lequel on note les données avec les symboles des grandeurs, les valeurs numériques et les unités. Ceci a pour but de concrétiser et de simplifier l'énoncé du problème.	**2.** Schéma 
3. Traiter chacune des questions dans l'ordre de l'énoncé. Indiquer d'une façon apparente le numéro ou la nature de la question.	**3.** Il s'agit de la résistance R du shunt.
4. Rechercher pour chacune des questions la formule qui contient l'inconnue ; le choix s'effectue d'après les données. Indiquer les unités en vérifiant si la formule est bien homogène.	**4.** D'après les données il n'y a que la formule contenant U, R et I qui peut convenir ici. C'est la loi d'Ohm : $U = R\ I$ (V, Ω, A)
5. Tirer de la formule choisie la valeur cherchée.	**5.** On tire de cette formule : $R = \frac{U}{I}$.
6. Indiquer les valeurs connues en convertissant, si nécessaire, les unités données dans l'énoncé.	**6.** Aucune valeur n'est connue directement.
7. Rechercher les formules qui permettent de trouver les autres inconnues, comme au paragraphe 4.	**7.** $U = ri$ avec $r = 0,30$ Ω et $i = 1$ A d'où $U = 0,30 \times 1 = 0,30$ V $I = I_t - i$ (loi des courants dérivés) avec $I = 5$ A et $i = 1$ A d'où $I = 5 - 1 = 4$ A.
8. Reporter dans la formule initiale les valeurs données ou déterminées.	**8.** Reportons les valeurs de U et I dans la formule de R.
9. Effectuer les opérations en ayant soin de bien les disposer pour mieux les vérifier (preuve par 9, par exemple). • Un calcul sommaire peut donner l'ordre de grandeur du résultat. • Pour contrôler les résultats on peut refaire le problème en considérant comme donnée la réponse ou en employant, si cela est possible, un autre raisonnement.	**9.** Faisons les calculs. $R = \frac{0,30}{4} = 0,075\ \Omega.$
10. Encadrer le résultat pour le mettre en évidence ; celui-ci doit comporter la grandeur calculée, sa valeur numérique et l'indication de l'unité.	**10.** $R = 0,075\ \Omega.$

(1) Pour se familiariser avec la méthode de résolution, il est conseillé d'utiliser les fascicules d'exercices et calculs professionnels pour les candidats aux C.A.P., B.E.P. (E_1, E_2) et B.P. (E_3) de l'électrotechnique (toutes options) de P. Heiny et G. Fuchs. Librairie Delagrave.

① 

F en newton (N)
1kgf = 9,81N
1N = 10^5dynes

② 

③ $W = F \times \ell$

J	N	m

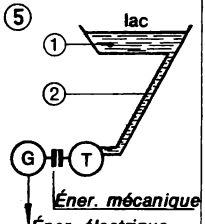
joule newton mètre
1kgm = 9,81J

④ $P = \frac{W}{t}$

W	J
	s

watt seconde

1kgm/s = 9,81W
1ch (cheval) = 75kgm/s
= 75 × 9,81 = 736W

⑤ 

T : *Turbine*
G : *Générateur*

⑥ $W_t = W_u + W_p$

$\eta = \frac{W_u}{W_t} = \frac{P_u}{P_t}$

Force *F*. Toute cause physique capable de modifier les conditions de mouvement ou de repos d'un corps ou d'y produire une déformation.
FIG. 1 : *(1)* Corps ; *(2)* Point d'application ; *(3)* Droite d'action ; *(4)* Sens ; *(5)* Intensité.
Dans le Système International d'unités (S. I.) (1), la force est exprimée en newtons (N). On a : 1 N = 0,102 kgf.

Travail mécanique *W*. Une force travaille quand son point d'application se déplace (fig. 2 et formule 3).

Puissance mécanique *P*. Travail accompli pendant l'unité de temps (formule 4).

Énergie *W*. Aptitude d'un corps à fournir un travail (formule 3).
Fig. 5 : *(1)* Énergie potentielle *(masse placée au-dessus du sol, ressort tendu, etc.). (2)* Énergie cinétique *(eau d'une cascade, véhicule en marche, etc.).*
— Formes de l'énergie : mécanique (ressort tendu, arbre de moteur tournant et entraînant une machine-outil), calorifique ou thermique (chaleur dégagée par un combustible), chimique (charge d'un accumulateur), radiante (lampes à incandescence, radiocommunications), électrique (accumulateurs, piles). *Exemple* (fig. 5).
— Transformation de l'énergie (fig. 5).
— Conservation de l'énergie. L'énergie est indestructible.
— Machine : tout dispositif capable de produire une transformation d'énergie.

EXEMPLES : machines transformant l'énergie électrique en une autre forme d'énergie (récepteurs électriques) ; machines transformant une forme quelconque de l'énergie en énergie électrique (générateurs électriques).
— Rendement d'une machine. La différence entre l'énergie absorbée W_t et l'énergie utile W_u représente l'énergie qu'elle dissipe (ou perte) W_p. Le rendement est le rapport entre les valeurs des grandeurs utiles restituées par un système et celles de la même nature fournies au même système.
Il est toujours inférieur à l'unité à cause des pertes (formules 6).

Application. Une turbine entraînant un générateur électrique est actionnée à l'aide d'une chute d'eau qui présente une dénivellation utile de 30 m et dont le débit est de 50 m³ par minute. Sachant que les rendements de la turbine et de la génératrice sont respectivement 60 % et 80 %, calculer : *a*) la puissance théorique de la chute ; *b*) la puissance mécanique de la turbine, en kgm/s et en W ; *c*) la puissance électrique de la génératrice, en W.

Solution.

a) Puissance de la chute.

$$P = \frac{50 \times 1\,000}{60} \times 30 = \mathbf{25\,000} \text{ kgm/s.}$$

b) Puissance mécanique de la turbine.

De $\eta = \frac{P_u}{P_t}$ on tire :

$P_u = P_t \cdot \eta = 25\,000 \times 0{,}60 = 15\,000$ kgm/s $= 15\,000 \times 9{,}81 = \mathbf{147\,150}$ W

c) Puissance mécanique de la génératrice.

$P' = P_u \cdot \eta' = 147\,150 \times 0{,}8 = 117\,720$ W $\approx \mathbf{118}$ kW.

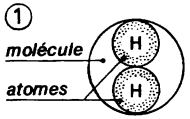
(1) Ce système, précédemment appelé Système M. K. S. A. (mètre, kilogramme, seconde, ampère) a été adopté en France par la loi du 3 mai 1961.

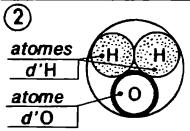
E. 3 — I - COURANT CONTINU

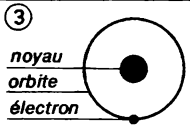
Constitution de la matière.

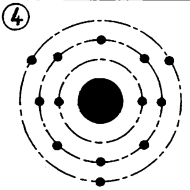
— La matière n'est pas divisible à l'infini. Elle est constituée de particules extrêmement petites, en perpétuelle agitation, appelées ***molécules.***

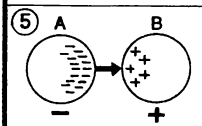
— Les molécules sont formées d'***atomes*** (matière ne pouvant plus être décomposée chimiquement). Les molécules d'un corps simple contiennent un ou plusieurs atomes identiques.
Exemple : la molécule d'hydrogène contient deux atomes identiques (fig. 1).
Les molécules d'un corps composé contiennent plusieurs atomes qui sont de natures différentes.
Exemple : la molécule d'eau est composée de deux atomes d'hydrogène (H2) et d'un atome d'oxygène (O), (fig. 2).

① 

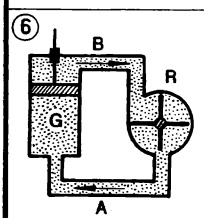
② 

③ 

④ 

⑤ 

le courant électrique est un déplacement d'électrons.

⑥ 

— Les atomes sont composés d'un ***noyau*** central (partie compacte) et de un ou plusieurs ***électrons*** (grain de matière) évoluant très rapidement autour de celui-ci.

Exemples : l'atome d'hydrogène contient un électron évoluant sur une orbite circulaire (fig. 3) ; l'atome d'aluminium contient treize électrons évoluant sur trois orbites circulaires (fig. 4).

La matière (noyau et électrons) n'occupe qu'une très faible partie de l'espace occupé par l'atome, le reste est du vide (nuage électronique).

Exemple : 10 m^3 de cuivre sont constitués par 1 mm^3 de matière environ (noyaux et électrons) ; le reste n'est que du vide.

On considère que les électrons sont des grains identiques possédant une charge ***négative*** (électricité négative) et que le noyau est chargé d'électricité ***positive.*** Deux éléments chargés d'électricité de même nom se repoussent et deux éléments chargés d'électricité de noms contraires s'attirent. Le noyau attire et retient les électrons dans son voisinage.

L'atome est ***neutre*** lorsque la charge totale des électrons équilibre celle du noyau. Les électrons lointains, peu attirés par le noyau, peuvent s'échapper et rompre la neutralité de l'atome. Ce dernier devient un ***ion positif*** (charge + supérieure à charge −).

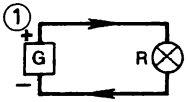
Au contraire si un atome récupère un ou plusieurs électrons sur son orbite extérieure, il devient un ***ion négatif*** (charge − supérieure à charge +).

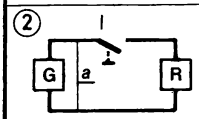
On réunit un corps A (fig. 5) qui possède des ions négatifs (atomes ayant des électrons en excès) et un corps B qui possède des ions positifs *(atomes manquant d'électrons)* à l'aide d'un fil métallique *(chemin permettant aux électrons de passer).* Les électrons en surnombre dans A (en *« pression »*) passent dans B (électrons en *« dépression »*). Le fil est parcouru par des électrons ou ***courant électrique.***

Circuit électrique.

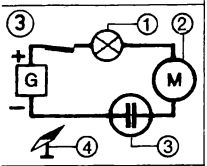
Générateur : source de courant susceptible de créer un déplacement d'électrons.

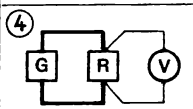
Fig. 6 : **analogie hydraulique.** La pompe G utilise l'énergie mécanique pour faire circuler le fluide contenu dans les tuyaux. L'ensemble G. B. R. A. forme un circuit hydraulique.

① 

② 

Circuit ouvert

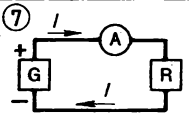
③ 

④ 

⑤ 1Ah = 3 600C

⑥

$I = \frac{Q}{t}$	
A	C
	s
A	Ah
	h

⑦ 

$1\ \mu A = \frac{1}{10^6}\ A$

$1\ mA = \frac{1}{10^3}\ A$

⑧

$R = \frac{U}{I}$	
Ω	V
	A

$1\ \mu\Omega = \frac{1}{10^6}\ \Omega$

$1\ m\Omega = \frac{1}{10^3}\ \Omega$

$1\ M\Omega = 10^6\ \Omega$

Le générateur G (fig. 1) est comparable à la pompe. Il possède deux bornes que l'on peut comparer aux deux orifices de la pompe. Il anime les électrons : aspiration des électrons *(borne positive +)*, refoulement des électrons *(borne négative −)* vers R (lampe allumée) ; les électrons reviennent au pôle + où ils sont aspirés.
— Corps conducteurs : laissant passer les électrons.
— Corps isolants : s'opposant à leur passage.
— Circuit électrique : association de générateur **G**, de récepteur **R** et de conducteurs **a** (fig. 2). Un interrupteur I permet d'ouvrir (arrêt du passage du courant) ou de fermer (établissement du courant) le circuit.

Courant électrique. Mouvement d'électricité dans un milieu ou le long d'un circuit. Il est dit *unidirectionnel* lorsqu'il conserve toujours le même sens. Le courant continu est un courant unidirectionnel constant (ou sensiblement constant).

Sens du courant. Conventionnellement, le courant circule du + (générateur) au − (générateur) à travers le circuit extérieur au générateur (fig. 1).

Effets du courant électrique.
Fig. 3 : *(1)* Thermique *(lampe)* ; *(2)* Mécanique *(moteur)* ; *(3)* Chimique *(cuve d'électrolyse)* *(4)* Magnétique *(aimant)*.

Potentiel d'un point *(V)*. Pression des électrons en ce point. Par convention la terre est considérée comme étant au potentiel 0.

Différence de potentiel *(U)* (d.d.p.). Si deux corps n'ont pas la même charge d'électricité, ils ne sont pas au même potentiel électrique. La d.d.p. oblige les électrons à s'écouler à travers les conducteurs.
— Mesure (fig. 4).
— Unité : volt (V). Sous-multiples usuels : millivolt (mV) et microvolt (μV). Multiple : kilovolt (kV).

Chute de potentiel ou de tension. Diminution du potentiel le long d'un conducteur ou dans un appareil parcouru par un courant.

Quantité d'électricité *(Q)* transportée pendant un temps donné.
— Unité : coulomb (C). Quantité d'électricité transportée par un courant constant de 1 A pendant 1 s.
— Unité pratique : ampère-heure (Ah). Quantité d'électricité transportée par un courant constant de 1 A pendant 1 h (relation 5).

Intensité du courant *(I)*. Quantité d'électricité débitée par unité de temps (formule 6).
— Même valeur en tous points d'un circuit.
— Mesure (fig. 7).
— Unité : ampère (A). Sous-multiples : milliampère (mA), microampère (μA).

Résistance d'un conducteur *(R)* : formule 8.
Difficulté plus ou moins grande qu'éprouvent les électrons à circuler à travers les conducteurs. Dans une résistance faible il passera plus d'électrons (forte intensité) que dans une résistance élevée (faible intensité). Unité : ohm (Ω). Sous-multiples et multiple : microhm (μΩ), milliohm (mΩ), mégaohm (MΩ).

E. 5 — I - COURANT CONTINU

①

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Ω	Ωm²/m	m / m²
Ω	Ωmm²/m	m / mm²
μΩ	μΩcm²/cm	cm / cm²

②

Matériaux à 0 °C	ρ en Ωmm²/mm
Argent	0,015
Cuivre ind.	0,016
Aluminium	0,026
Fer	0,10
Maillechort	0,30
Constantan	0,50
RNC1 (Ni 35% Cr 10%, Fe 55%)	1
SO_4H_2 à 28°B	$1,36 \cdot 10^6$
Papier	$0,50 \cdot 10^6$
Verre	$0,90 \cdot 10^6$

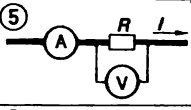
③

$$\rho_\theta = \rho_0 (1 + \alpha_\theta)$$

④

Matériaux	α
Cuivre, Alu	0,004
Fer	0,006
Ferro-Nickel	0,0009
Constantan	0
Carbone	−0,0007

⑤



⑥

U = R I		
V	Ω	A

⑦ $R = \frac{U}{I}$

⑧ $I = \frac{U}{R}$

L'ohm est la résistance d'un conducteur qui est parcouru par un courant de 1 A lorsqu'il existe entre ses bornes une d.d.p. de 1 D.

— **La résistance** d'un conducteur dépend de ses dimensions et de sa nature (formule 1). ρ : *résistivité (facteur caractéristique du matériau conducteur).*

Unités pratiques : R en Ω ; ρ en Ω mm²/m ; ℓ en m, S en mm².
— **Résistivité** : résistance d'un échantillon de conducteur ayant l'unité de section et l'unité de longueur.

Résistivité de quelques corps : tableau 2.
— **Variation de la résistivité avec la température** : formule 3.
ρ_θ et ρ_0 résistivités à θ et 0 °C ; α *: coefficient de température caractérisant le matériau (tableau 4).*
Il s'ensuit une variation de la résistance électrique :
$R_\theta = R_0 (1 + \alpha\ \theta)$.

Loi d'Ohm (fig. 5 et formule 6).
Appliquée à un conducteur ou à un récepteur fournissant uniquement de l'énergie thermique. Elle exprime la proportionnalité de l'intensité du courant à la d.d.p. entre les extrémités d'un élément de circuit qui n'est le siège d'aucune force électromotrice (f.e.m.). La formule 7 permet de calculer (ou mesurer) des résistances ; la formule 8, l'intensité du courant absorbée par un appareil.

Applications.
I. L'enroulement d'une machine est constitué par un fil de cuivre de 1 mm de diamètre et 500 m de longueur. Quelle est sa résistance si la résistivité du cuivre est de 0,016 Ω mm²/m ?

Solution. La résistance est donnée par la formule $R = \rho \frac{\ell}{s}$ dans laquelle R est exprimée en Ω, ρ en Ω mm²/m, ℓ en m (500 m); S en mm² $\left(\frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \times 1 \times 1}{4} = 0,785\ \text{mm}^2\right)$,

d'où $$R = \frac{0,016 \times 500}{0,785} \approx \mathbf{10,2}\ \Omega.$$

II. Un fer électrique branché sous une d.d.p. $U = 220$ V est parcouru par un courant d'intensité 1,4 A à la température de 0 °C et 1,07 A à la température θ_1. Calculer θ_1 si $\alpha = 0,002$.
Solution. Soit : R_1 la résistance à θ_1 °C; R_0 la résistance à 0 °C; α le coefficient de température.

$$R_1 = R_0(1 + \alpha\theta_1), \quad \text{d'où} \quad \theta_1 = \frac{R_1 - R_0}{R_0\ \alpha_1} \qquad (1)$$

$$R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{120}{1,07} \approx 205\ \Omega$$

$$R_0 = \frac{U}{I_0} = \frac{220}{1,4} \approx 157\ \Omega$$

$$\theta_1 = \frac{205 - 157}{157 \times 0,002} \approx \mathbf{153}\ °\text{C}.$$

① $W = R\ I^2\ t$

J	Ω	A	s

② $W = U\ I\ t$

Wh	V	A	h

③ $P = U\ I$

W	V	A

④ $P = R\ I^2$

W	Ω	A

⑤ $P = \dfrac{U^2}{R}$

W	V
	Ω

⑥ $q = 0{,}24\ R\ I^2\ t$

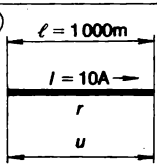
µth ou cal	Ω	A	s

1th = 10^3mth = 10^6µth
1mth = 1kcal = 10^3cal

⑦ $J = \dfrac{I}{s}$

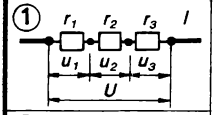
A/mm²	A
	mm²

⑧



Effet thermique du courant.
Quand on établit une d.d.p. aux extrémités d'un conducteur, l'énergie communiquée aux électrons est plus grande. Dans leur déplacement, les électrons heurtent violemment des atomes. Les chocs provoquent un dégagement de chaleur.
— Loi de Joule. Énergie thermique W mise en jeu dans une portion de circuit pendant un temps déterminé t (formules 1 et 2). Le wattheure (Wh) est l'énergie mise en jeu pendant 1 heure par une puissance d'un watt ; il vaut 3600 joules.
— **Puissance des récepteurs thermiques.** La puissance dégagée sous forme de chaleur dans un conducteur est donnée par les formules 3, 4 et 5.
— **Quantité de chaleur dégagée dans un conducteur.** On exprime souvent l'énergie produite dans un conducteur par le passage du courant à l'aide de l'ancienne unité : calorie (ou microthermie) et son multiple kilocalorie (ou milithermie). Ancienne formule : formule 6. La milithermie est la quantité de chaleur capable d'élever de 1 °C la température de 1 kg d'eau.
4,18 joules transformés en chaleur produisent 1 µth, donc $J = \dfrac{1}{4{,}18} = 0{,}24$ µth.
— **Densité de courant** J : intensité du courant par unité de section (formule 7).
— **Conséquences de l'effet thermique** : effets utiles (chauffage, éclairage par incandescence, protection par fusibles) ; effets nuisibles (diminution du rendement des machines et des lignes de transport).

Applications.
I. Un fil d'alimentation possède les caractéristiques suivantes : longueur 1 000 m, intensité du courant le parcourant 10 A, résistivité $\rho = 0{,}017\ \Omega\ mm^2/m$.
Si la perte de puissance admise est de 162 W, *calculer :*
a) la chute de tension u ;
b) la résistance r du fil ;
c) la section s à utiliser.
Solution (fig. 8).
a) Chute de tension. Connaissant la perte de puissance et l'intensité, utilisons la formule :
$p = ul$, d'où nous tirons $u = \dfrac{p}{I}$ avec $p = 162$ W et $I = 10$ A
d'où $u = \dfrac{162}{10} = \mathbf{16{,}2\ V.}$
b) Résistance du fil.
De $u = rI$, on tire $r = \dfrac{u}{I}$ avec $u = 16{,}2$ V et $I = 10$ A
d'où $r = \dfrac{16{,}2}{10} = \mathbf{1{,}62\ \Omega}$, ou encore : de $p = rI^2$, $r = \dfrac{p}{I^2} = \dfrac{162}{100} = 1{,}62\ \Omega$.
c) Section. De $r = \rho \dfrac{\ell}{s}$, on tire : $s = \rho \dfrac{\ell}{r}$
avec $\rho = 0{,}017\ \Omega\ mm^2/m$, $\ell = 1\,000$ m, $r = 1{,}62\ \Omega$,
d'où $s = \dfrac{0{,}017 \times 1\,000}{1{,}62} \approx 10{,}5\ mm^2$.
Pratiquement on adopterait le conducteur normalisé **10** mm² (7 brins de 1,35 mm).
II. Quelle intensité peut-on faire passer dans un conducteur de 1,5 mm² sachant que la densité de courant admissible est de 7 A/mm² ?
Solution. De la formule $J = \dfrac{I}{s}$ on tire $I = Js$
avec $J = 7$ A/mm² et $s = 1{,}5$ mm²
d'où $I = 7 \times 1{,}5 = \mathbf{10{,}5}$ A.

① 

② $U = u_1 + u_2 + u_3 = \Sigma u$

③ $R = r_1 + r_2 + r_3 = \Sigma r$

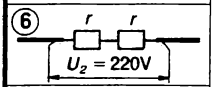
④ $P = u_1 I + u_2 I + u_3 I = \Sigma u I = UI$

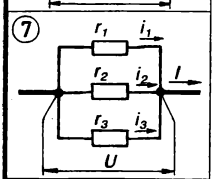
$P = \Sigma r I^2 = RI^2 = \dfrac{U^2}{R}$

⑤ $U = un$

$R = rn$

$P = pn = uIn$

⑥ 

⑦ 

⑧ $I = i_1 + i_2 + i_3 = \Sigma i$

⑨ $\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{r_1} + \dfrac{1}{r_2} + \dfrac{1}{r_3} = \Sigma \dfrac{1}{r}$

⑩ $P = UI_1 + UI_2 + UI_3 = \Sigma iU = UI$

⑪ $R = \dfrac{r}{n}$

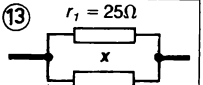
$I = in$

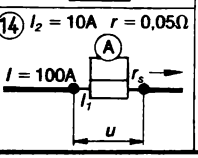
$P = pn = rin$

⑫ $R = \dfrac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2}$

$i_1 = I \dfrac{r_2}{r_1 + r_2}$

$i_2 = I \dfrac{r_1}{r_1 + r_2}$

⑬ 

⑭ 

Groupement des résistances en série.

Résistances montées les unes à la suite des autres (fig. 1).

— **Intensité** I : **la même** intensité traverse les résistances.

D. d. p. U (formule 2).

— **Résistance du groupement** R ou résistance équivalente : (formule 3).

— **Puissance absorbée par le groupement** P (formules 4).

— **Cas de** n **résistances identiques** r : (formules 5).

— **Utilisations** : lampes montées en série (métro), rhéostat de réglage à curseur ou à plots, boîte de résistances, résistances additionnelles.

Application. Deux éléments chauffants d'une cuisinière électrique absorbent chacun une puissance de 600 W sous 220 V. Ils sont branchés en série sur un secteur de 220 V. Calculer la nouvelle puissance mise en jeu.

Solution (fig. 6). La nouvelle puissance mise en jeu est donnée par la formule $P = \dfrac{U_2 I}{2r}$ dans laquelle $U_2 = 220$ V.

$$r = \frac{U_2^2}{p} = \frac{220 \times 220}{600} \quad \text{d'où} \quad P = \frac{220 \times 220 \times 600}{2 \times 220 \times 220} = \mathbf{300\ W}.$$

Groupement des résistances en parallèle (ou en dérivation).

Extrémités des résistances réunies à deux mêmes points (fig. 7).

— **D. d. p.** U : la d. d. p. aux bornes du groupement est la même que celle qui existe entre les extrémités de chaque résistance.

— **Intensité** I : (formule 8).

— **Résistance du groupement** R : l'inverse de la résistance équivalente $1/R$ est égale à la somme des inverses des résistances de chaque dérivation (formule 9).

— **Puissance absorbée par le groupement** P (formule 10).

— **Cas de** n **résistances identiques** r (formules 11).

— **Cas de deux résistances** r_1, r_2 montées en dérivation (formules 12).

— **Utilisations** : lampes montées en dérivation, shunt d'ampèremètre.

Applications.

I. Par quelle résistance faut-il shunter un récepteur de 25 Ω pour obtenir une résistance équivalente de 10 Ω ?

Solution (fig. 13).

$$\frac{1}{r_1} + \frac{1}{x} = \frac{1}{R} \quad \frac{1}{25} + \frac{1}{x} = \frac{1}{10} \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{x} = \frac{1}{10} - \frac{1}{25}.$$

Effectuons : $\dfrac{1}{x} = \dfrac{2{,}5}{25} - \dfrac{1}{25} = \dfrac{1{,}5}{25}$ d'où $x = \dfrac{25}{1{,}5} \approx \mathbf{16{,}7\ \Omega}$.

II. On dispose d'un ampèremètre de 10 A 0,05 Ω et l'on désire mesurer des intensités allant jusqu'à 100 A. Calculer la résistance du shunt si l'on néglige la résistance des cordons.

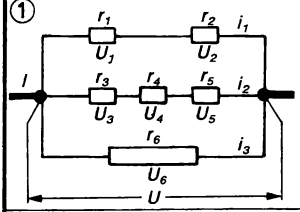
Solution (fig. 14).

$$r_2 = \frac{u}{I_2} \text{ avec } \quad u = rI_2 = 0{,}05 \times 10 = 0{,}5 \text{ V}$$

et $\quad I_1 = 100 - 10 = 90$ A

d'où $\quad r_2 = \dfrac{0{,}5}{90} = \mathbf{0{,}005\,5\ \Omega}$.

①



②

$$I = i_1 + i_2 + i_3 = \Sigma i$$

③

$$U = u_1 + u_2 = u_3 + u_4 + u_5 = u_6$$

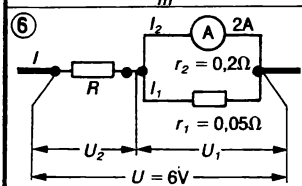
④

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1 + r_2} + \frac{1}{r_3 + r_4 + r_5} + \frac{1}{r_6}$$

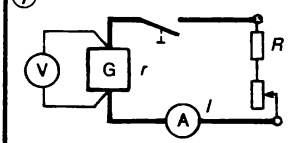
⑤

$$U = un \qquad I = im \qquad R = \frac{rn}{m}$$

⑥



⑦



E : circuit ouvert.
U : circuit fermé.

⑧ $u = E - U = rI$

⑨ $E = U + rI$

⑩ $U = E - rI$

⑪ $E = (R + r)I$

⑫ $$I = \frac{E}{R + r}$$

⑬ $P_t = EI$

⑭ $P_u = UI = RI^2$

⑮ $p = P_t - P_u = rI^2$

⑯ $$\eta_e = \frac{P_u}{P_t} = \frac{U}{E}$$

⑰ $$\eta_i = \frac{P_u}{P_t}$$

Groupement des résistances en série-parallèle (mixte). Combinaison des deux groupements précédents (fig. 1).

— **Intensité** I (formule 2).

— **D.d.p.** U (formule 3).

— **Résistance du groupement** R (formule 4).

— **Cas de** m **dérivations** comprenant chacune n résistances en série de même valeur r (formules 5).

— **Utilisations :** résistances de montage de mesures, postes radio, etc.

Application. D'après les données figurant sur le schéma (fig. 6) calculer R.

Solution.

$R = \frac{U_2}{I}$ (1) avec :

$U_2 = U - U_1$ (2) et

$I = I_1 + I_2$ (3)

$U = r_2 I_2 = 0{,}2 \times 2 = 0{,}4$ V

d'où $U_2 = 6 - 0{,}4 = 5{,}6$ V

$I_1 = \frac{U_1}{r_1} = \frac{0{,}4}{0{,}05} = 8$ A

d'où $I = 2 + 8 = 10$ A

et $R = \frac{5{,}6}{10} = \mathbf{0{,}56}\ \Omega$

Générateurs électriques.

— **F.e.m.** E : force qui fait mouvoir les électrons. C'est la tension mesurée aux bornes d'un générateur à circuit ouvert (fig. 7 et formule 9).

— **D.d.p.** U : tension mesurée aux bornes d'un générateur à circuit fermé (formule 10).

— **Chute de tension ou perte de charge** u (formule 8).

r représente la résistance intérieure du générateur. En remplaçant U par RI dans la formule 9 on obtient la formule 11, d'où l'on tire la formule 12. Si le générateur est en court-circuit, $I_{cc} = \frac{E}{r}$.

— **Puissance électrique totale** mise en jeu (ou développée) P_t (formule 13).

— **Puissance électrique mise en jeu dans le circuit extérieur** (ou utile) P_u (formule 14).

— **Puissance perdue** p (formule 15).

— **Rendement électrique** η_e (formule 16).

— **Rendement industriel** η_i (formule 17).

P_t : puissance fournie au générateur.

Application. Calculer les puissances électriques totale et utile, la perte de puissance d'origine électrique et le rendement électrique d'une génératrice présentant les caractéristiques suivantes : $E = 245$ V; $r = 0{,}08\ \Omega$; $I = 80$ A.

Solution.

a) $P_t = EI = 245 \times 80 = \mathbf{19600}$ W.

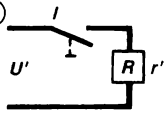
b) $P_u = UI$ avec $U = E - rI = 245\ (0{,}08 \times 80) = 238{,}6$ V

d'où $P_u = 238{,}6 \times 80 = \mathbf{19088}$ W.

c) $p = P_t - P_u = 19600 - 19088 = \mathbf{512}$ W.

d) $\eta_e = \frac{P_u}{P_t} = \frac{19088}{19600} \approx \mathbf{0{,}97}$.

E. 9 — I - COURANT CONTINU

① 

② $u' = r'I$

③ $U' - E' = r'I$

④ $U' = E' + r'I$

⑤ $I = \dfrac{U' - E'}{r'}$

⑥ $P'_t = U'I$

⑦ $P'_u = E'I$

⑧ $p' = P'_t - P'_u = r'I^2$

⑨ $\eta'_e = \dfrac{P'_u}{P'_t} = \dfrac{E'}{U'}$

⑩ $\eta'_i = \dfrac{P'_t}{P'_t}$

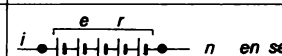
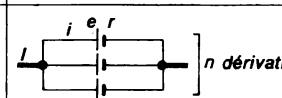
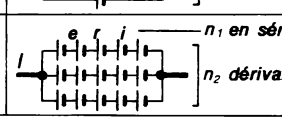
Récepteurs électriques (fig. 1).

— **F.c.e.m.** E' : force électromotrice s'opposant à la tension d'alimentation U'.
— **Chute de tension** u' (formules 2 et 3).
— **Loi d'Ohm appliquée à un récepteur** développant une f.c.e.m. E' (formule 4).
U' : tension d'alimentation, r' : résistance intérieure.
— **Intensité du courant absorbé** (formule 5).

Si $E' = 0$ (moteur à l'arrêt), $I = \dfrac{U'}{r'}$ est très élevée.

— **Puissance électrique totale** fournie au récepteur par la source P'_t (formule 6).
— **Puissance électrique utile restituée** par le récepteur P'_u (formule 7).
— **Puissance électrique perdue** p' (formule 8).
— **Rendement électrique** η'_e (formule 9).
— **Rendement industriel** η'_i (formule 10).
P'_t : puissance fournie par le récepteur.

Groupement des générateurs et des récepteurs ayant la même f.e.m. (ou f.c.e.m.) et la même résistance.

Mode de groupement	Schémas	I	E	r_t
Série		i	$e \times n$	$r \times n$
Dérivation		$i \times n$	e	$\dfrac{r}{n}$
Mixte		$i \times n_2$	$e \times n_1$	$\dfrac{r \times n_1}{n_2}$

Applications

I. Fonctionnant en récepteur, un accumulateur a une f.c.e.m. $E' = 5{,}4$ V. Sachant qu'il est traversé par un courant de 1,2 A et que son rendement électrique est 98 %, calculer : la d.d.p. appliquée à ses bornes, la résistance intérieure et ses puissances électriques totale et utile.

Solution.

a) d.d.p. : de $\eta'_e = \dfrac{E'}{U'}$, on tire $U' = \dfrac{E'}{\eta'_e} = \dfrac{5{,}4}{0{,}98} = \mathbf{5{,}51}$ V.

b) Résistance intérieure : de $U' - E' = rI$ on tire $r' = \dfrac{U' - E'}{I} = \dfrac{5{,}51 - 5{,}4}{1{,}2} \approx \mathbf{0{,}09}\ \Omega$.

c) Puissances : $P'_t = U'I = 5{,}51 \times 1{,}2 \approx \mathbf{6{,}6}$ W.
$P'_u = E'I = 5{,}4 \times 1{,}2 \approx \mathbf{6{,}5}$ W.

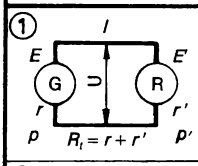
II. Un moteur alimenté sous 220 V absorbe en pleine charge 30 A. Sachant que $\eta'_e = 0{,}95$ et $\eta'_i = 0{,}88$, calculer : sa f.c.e.m., sa résistance intérieure et la puissance mécanique utile.

Solution.

a) f.c.e.m. $E' = U'\eta'_e = 220 \times 0{,}95 = \mathbf{209}$ V.

b) Résistance. $r' = \dfrac{U' - E'}{I} = \dfrac{220 - 209}{30} \approx \mathbf{0{,}37}\ \Omega$.

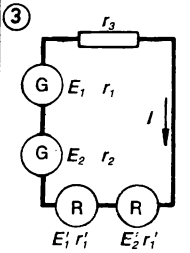
c) Puissance mécanique. $P_m = \eta_i P_t = 0{,}88 \times 220 \times 30 = \mathbf{5\,808}$ W.

① 

$R_t = r + r'$

② $E = E' + R_t I$

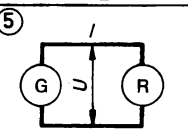
$I = \dfrac{E - E'}{R_t}$

③ 

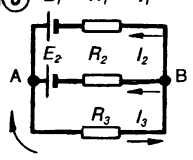
④ $\Sigma E = \Sigma RI$

$R = r_1 + r_2 + r'_1 + r'_2 + r_3$

$I = \dfrac{\Sigma E}{\Sigma R}$

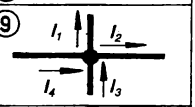
⑤ 

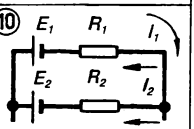
$E = 205$ V $E' = 194$ V
$r = 0{,}1\ \Omega$ $r' = 0{,}12\ \Omega$

⑥ 

⑦ $\Sigma I = 0$

⑧ $\Sigma E = \Sigma RI$

⑨ 

⑩ 

Loi d'Ohm généralisée.

— circuit comprenant un générateur et un récepteur développant une f.c.e.m. (fig. 1, formules 2).
D'après le principe de la conservation des puissances :

$$P_t = P'_u + p' + p, \quad \text{soit :} \quad EI = EI + r'I^2 + rI^2$$

d'où, en divisant tous les membres par I :

$$E = E' + r'I + rI = E' + R_t I.$$

— circuit comprenant des générateurs, des récepteurs uniquement thermiques et des récepteurs développant une f.c.e.m. (fig. 3, formules 4).

Application. Données (fig. 5). Inconnues : I et U.

Solution.

$$I = \frac{E - E'}{R_1} = \frac{205 - 194}{0{,}1 + 0{,}12} = \mathbf{50}\ \text{A}$$

$$U = E - rI = E' + r'I = 205 - (0{,}1 \times 50) = \mathbf{200}\ \text{V}.$$

Lois de Kirchhoff appliquées aux circuits complexes (fig. 6).

— **Réseau :** ensemble de conducteurs, générateurs et récepteurs reliés entre eux de façon quelconque.
— **Sommet ou nœud :** point où aboutissent plusieurs conducteurs. *Exemple :* A-B.
— **Élément de circuit ou branche :** portion de circuit comprise entre deux sommets. *Exemple :* $AE_1R_1B - AR_3B$.
— **Contour fermé ou maille :** circuit fermé constitué par un ensemble de branches. *Exemple :* $AE_1R_1BR_2E_2A$.
— 1re loi : loi des sommets ou des nœuds : (formule 7). La somme algébrique des courants qui aboutissent à un nœud d'un réseau est nulle.
— 2e loi : loi des mailles ou des contours fermés : (formule 8). La somme algébrique des f.e.m. dans un circuit fermé est égale à la somme algébrique des chutes de tension dues aux résistances.

Conventions.

1re loi : sens arbitraire des courants, se dirigeant vers le sommet $(+ I)$, s'éloignant du sommet $(- I)$.
Exemple (fig. 9) : $I_4 + I_3 - I_1 - I_2 = 0$.
2e loi : sens de parcours : ⌐, par exemple. F.e.m. ou f.c.e.m. considérées comme positives si elles augmentent le potentiel dans le sens du parcours et négatives dans le cas contraire.
RI : même sens que I. Les intensités sont considérées comme positives si elles se dirigent dans le sens du parcours et négatives dans le cas contraire.
Exemple (fig. 10) : $-E_1 + E_2 = -R_1I_1 + R_2I_2$.
Si le courant trouvé est positif, il passe effectivement dans le sens arbitrairement choisi. S'il est négatif, il passe en sens inverse du sens choisi.

Application (fig. 6). Données $E_1 = 24$ V, $E_2 = 20$ V, $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 10\ \Omega$, $R_3 = 20\ \Omega$. Inconnues : I_1, I_2, I_3.

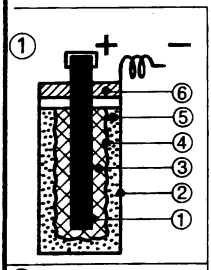
Solution. Sommet A, on a : $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ (1).
Contours fermés $AE_1R_1BR_2E_2A$ et $AE_2R_2BR_3$ (sens du parcours ⌐).
$-E_1 + E_2 = -R_1I_1 + R_2I_2$ soit $-24 + 20 = -4 = -10I_1 + 10I_2$ ou $5I_1 - 5I_2 = 2$ (2).
$-E_2 = -R_2I_2 - R_3I_3$ soit $-20 = -10I_2 - 20I_3$ ou $I_2 + 2I_3 = 2$ (3).
La résolution de (1), (2) et (3) donne :
$I_1 = +\mathbf{0{,}64}$ A donc sens ←;
$I_2 = +\mathbf{0{,}24}$ A donc sens ←;
$I_3 = +\mathbf{0{,}88}$ A donc sens →.

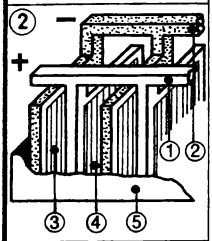
E. 11 I - COURANT CONTINU

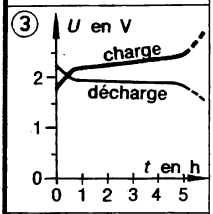
Piles.
Elles transforment l'énergie chimique en énergie électrique.

Constitution d'une pile « sèche » Leclanché.
Fig. 1 : *(1)* Électrode positive *(charbon)*; *(2)* Électrode négative *(vase en zinc amalgamé)*; *(3)* Dépolarisant contenu dans un sac en toile *(4)*; *(5)* Liquide immobilisé dans une pâte neutre *(amidon, sciure)*; *(6)* Partie isolante *(cire)*.
F. e. m. de chaque élément : 1,5 V.
Couplage de trois éléments en série séparés par un carton, pour 4,5 V (lampe de poche), ou de plus de trois éléments *(poste radio portatif)*; $r \approx 0{,}3\ \Omega$.

Caractéristiques.
— E dépend de la nature chimique des électrodes et de l'électrolyte (de 1 à 2 V). Si la pile débite sur un circuit peu résistant, U baisse rapidement (phénomène de *polarisation*). Emploi d'un dépolarisant solide, liquide ou gazeux pour limiter cette baisse *(dépolarisation)*.
— Capacité en Ah : quantité totale d'électricité débitée jusqu'à épuisement complet de la pile.







④ $\eta_q = \dfrac{Q_{dé}}{Q_{ch}} \approx 0{,}9$

⑤ $\eta_w = \dfrac{W_{dé}}{W_{ch}} \approx 0{,}75$

⑥

$I = \dfrac{Q}{t}$	
A	Ah
	h

Accumulateurs.

En récepteur : transformation énergie électrique en énergie chimique *(charge)*. En générateur : transformation inverse *(décharge)*.

Constitution d'un accumulateur au plomb.

Fig. 2 : *(1)* Plaques + : grilles en plomb pur garnies d'une pâte de matière active *(oxyde de plomb rapporté)*; *(2)* Plaques − : plomb pur spongieux allié à de l'antimoine; *(3)* Séparateurs : lames perforées *(bois, ébonite)*; *(4)* Électrolyte (*acide sulfurique étendu d'eau*, 24° Baumé); *(5)* Bac en matière isolante et inattaquable : verre, matière plastique, etc.

Caractéristiques.

— Période de charge : présence d'une f. c. e. m.
— Période de décharge : présence d'une f. e. m.
— Résistance intérieure : dépend de la concentration de l'électrolyte (0,01 Ω).
— Variation de U aux bornes d'un élément au cours de la charge et de la décharge (fig. 3). Tension de régime : 2 V.
— Capacité en Ah. Q fournie pendant la décharge : dépend de la concentration de l'électrolyte, de la température et de la masse de matière active (10 Ah par kg de plaque, environ).
— Rendement en quantité (formule 4). Énergie emmagasinée : ≈ 50 Wh par kilogramme de plaque.
— Rendement en énergie (formule 5).
— Intensité de charge (formule 6) : $t \approx 12$ h.
— Intensité de décharge : ($t \approx 10$ h). Indices de fin de charge : $U \approx 2{,}6$ V, dégagement gazeux, concentration 28 °B. Indices de fin de décharge : $U \approx 1{,}8$ V, 20 °B.

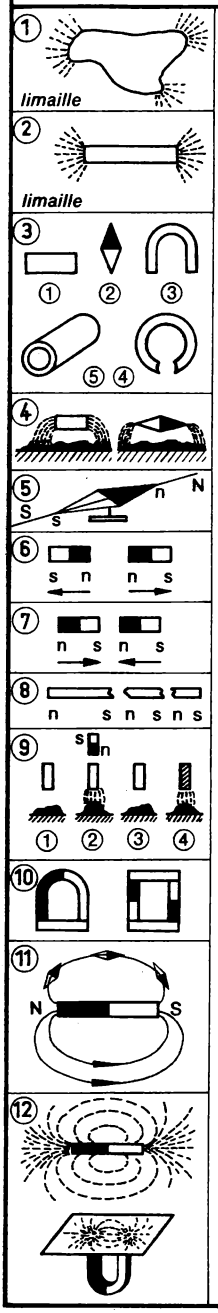
Une décharge prolongée sulfate les éléments.

Conservation sans emploi : retirer l'électrolyte après la charge complète et le remplacer par de l'eau distillée.

Entretien : graisser les connexions extérieures pour éviter les sels grimpants, l'électrolyte doit recouvrir les plaques *(ajouter de l'eau distillée)*.

Usages : batteries fixes *(éclairage de secours)*, transportables *(véhicules)*.

Accumulateurs alcalins *(fer-nickel et cadmium-nickel)* : $e \approx 1{,}2$ V. Plus légers et robustes, mais plus chers que les accumulateurs au plomb. *Emploi :* appareils de traction *(camionnettes électriques, tracteurs d'usines...)*.



Aimants.

Corps qui ont la propriété d'attirer des particules de fer.

— Aimants naturels (fig. 1) : oxydes de fer. Non utilisés.

— Aimants artificiels (fig. 2) : barreaux d'acier traité, seuls utilisés industriellement. Différentes formes (fig. 3) : *(1)* Droit ; *(2)* Aiguille aimantée *(boussole)* ; *(3)* fer à cheval *(magnéto)* ; *(4)* Circulaire *(ampèremètre)* ; *(5)* cylindrique *(haut-parleur)*.

Propriétés des aimants.

— Pôles Nord et Sud : régions extrêmes où l'attraction est la plus forte (fig. 4).

— Aiguille aimantée suspendue en son milieu (fig. 5) : position d'équilibre Nord-Sud magnétique (voisine du N. S. géographique).

— Force magnétique : deux pôles de même nom se repoussent (fig. 6) ; deux pôles de nom contraire s'attirent (fig. 7). Les pôles sont inséparables (fig. 8).

Aimantation. Opération par laquelle on donne à un corps les propriétés d'un aimant.

— Aimantation par influence.
Fig. 9 : *(1)* Barreau d'acier extra-doux non aimanté *(neutre)* : n'attire pas la limaille de fer ; *(2)* Au voisinage d'un aimant, le barreau attire la limaille ; *(3)* L'aimant retiré, le barreau n'attire plus la limaille.

— Aimantation rémanente.
Fig. 9 : *(4)* Barreau d'acier dur trempé et préalablement soumis à l'influence d'un aimant, continue d'attirer la limaille, l'aimant retiré.

— Corps magnétiques ou ferromagnétiques : corps attirés par un aimant *(fer, fonte, acier, nickel, cobalt)*.

— Corps non magnétiques ou paramagnétiques : corps non attirés par un aimant *(cuivre, aluminium, plomb, verre, etc.)*.

— Les propriétés magnétiques des corps peuvent être modifiées par la chaleur, par des chocs ou vibrations, par des actions magnétiques.

— Conservation de l'aimantation permanente : incorporation au fer de nickel, tungstène, cobalt, aluminium. Réunion des pôles par une armature en acier (fig. 10).

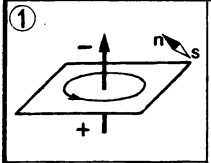
Champ magnétique. Région de l'espace où il existe un état magnétique susceptible de se traduire par des forces.

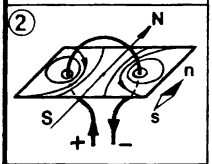
— Ligne de force : trajectoire que suivrait le pôle nord d'une petite aiguille aimantée mobile dans un champ magnétique (fig. 11).

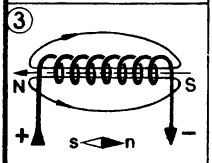
— Spectres magnétiques : figures obtenues en saupoudrant de limaille de fer un papier placé à plat sur un aimant (fig. 12).
Par convention on admet que les lignes de force se dirigent, à l'extérieur de l'aimant, du pôle nord au pôle sud.

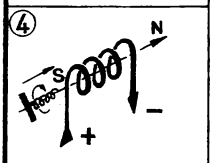
Remarque. Le magnétisme est un phénomène moléculaire. Chaque électron, en se déplaçant, produit autour de lui un champ magnétique. Les atomes tournant dans tous les sens produisent des champs dans toutes les directions. Lorsque la somme de tous ces champs est nulle, le corps n'est pas aimanté.
Si un morceau d'acier est placé dans un champ magnétique, ses atomes s'orientent de façon à ce que tous les électrons trounent dans le même sens : le corps est aimanté.

E. 13 III - ÉLECTROMAGNÉTISME









⑤

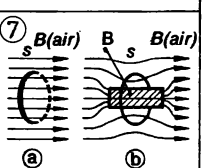
$$B = \frac{4\pi}{10^7}\,\frac{NI\mu}{\ell}$$

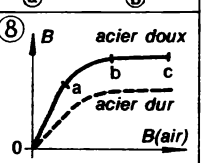
T		$\frac{A}{m}$

⑥

$$\Phi = B_n S$$

Wb	T	m^2





Propriétés magnétiques du courant.

Un courant électrique qui circule dans un conducteur crée un champ magnétique au voisinage de ce conducteur.

— **La forme des lignes de force** dépend de la disposition des conducteurs : conducteur rectiligne (fig. 1), conducteur circulaire (bobine plate, fig. 2), bobine longue ou solénoïde (cas général) (fig. 3).

— **Polarité des faces d'une bobine :** recherche à l'aide d'une aiguille aimantée (attraction ou répulsion). Dépend du sens du courant qui parcourt la bobine, et du sens de l'enroulement de ses spires.

Face nord : face en regard de laquelle il faut se placer pour voir le courant tourner dans le sens inverse de rotation des aiguilles d'une montre (fig. 2, 3 et 4). Un tire-bouchon placé parallèlement à l'axe de la bobine et tournant dans le sens du courant se déplace dans le sens des lignes de force.

Champ d'induction au centre d'une bobine longue : B (formule 5)

B : en tesla.
N : nombre de spires.
I : intensité du courant en ampères.
ℓ : longueur de la bobine en mètres.
μ : *perméabilité magnétique dépendant du milieu (pour l'air $\mu = 1$).*
$\frac{N}{\ell} = N_1$ = nombre de pires par mètre.

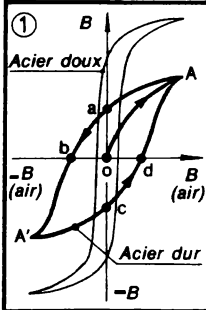
$N_1 I$: nombre d'ampèretours par mètre (At/m).
Le tesla est le champ d'induction au centre d'une bobine électrique infiniment longue baignée dans un milieu de perméabilité unité et portant 1 ampèretour par mètre.
1 T vaut 1 Wb/m^2.

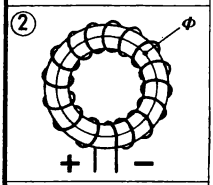
Flux magnétique : $\varnothing$ *(formule 6)*

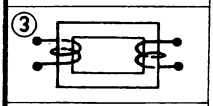
$\varnothing$: *en weber.*
B_n : composante du champ B normale à la surface S, en tesla.
S : aire en mètres carrés.
Le weber est le flux magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produit une f. e. m. de 1 V si on l'amène à la valeur 0 en 1 s, par décroissance uniforme.

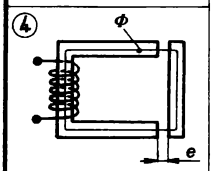
Aimantation du fer. Un barreau de fer doux s'aimante quand on le place dans une bobine traversée par un courant. La présence d'un noyau de fer augmente le flux considérablement (fig. 7).
Courbe d'aimantation du fer (champ croissant) : $B = f(B_{(air)})$ Caractéristique 8.
Partie Oa : le fer n'est pas saturé.
Partie ab : coude de saturation.
Partie bc : saturation.

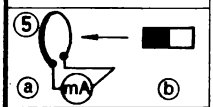
B et $B_{(air)}$ ne sont pas proportionnels : $\mu = \frac{B}{B_{(air)}}$ dépend de la nature du métal et de $B_{(air)}$.

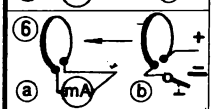


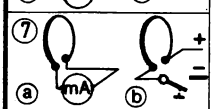


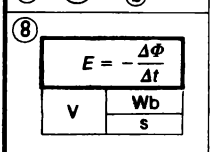


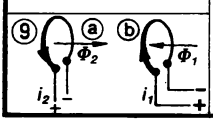












Aimantation dans un champ alternatif.

— **Hystérésis** : retard de la désaimantation.

— **Cycle d'hystérésis** $B = f(B_{(air)})$ pour des valeurs croissantes et décroissantes de $B_{(air)}$ et inversion du sens du courant produisant $B_{(air)}$. Caractéristique 1.

Trait gras : cycle d'un matériau à saturation peu élevée, faible perméabilité (confection d'aimants permanents : acier au cobalt, chrome, nickel, etc.).

Trait maigre : cycle d'un matériau à saturation élevée et grande perméabilité (acier doux, alliages ferromagnétiques à base de nickel, tôles de machines soumises à des aimantations alternatives rapides).
Oa. Oc : induction rémanente du noyau (le métal reste aimanté après la disparition du courant inducteur).
Ob Od : désaimantation du noyau.

Le cycle d'hystérésis caractérise les propriétés magnétiques d'un matériau déterminé. Sa forme détermine le mode d'emploi des aciers. Les pièces soumises à des champs variables s'échauffent au détriment du rendement des machines.

Circuit magnétique parfait. Circuit créé par un enroulement uniformément réparti sur une carcasse (tore) et dont le flux d'induction reste entièrement canalisé. Pas de fuite magnétique (fig. 2).

Circuit magnétique imparfait (cas des appareils industriels).

— enroulement irrégulièrement réparti (fig. 3). Une partie du flux s'échappe, d'où fuites magnétiques.

— entrefer *e* (fig. 4) provoquant l'épanouissement du flux, d'où fuites magnétiques.

Induction électromagnétique. Création d'un courant induit (dû à une f.e.m. induite) par *variation* du *flux magnétique* à travers un circuit fermé.

Variation du flux :

1° par déplacement relatif d'une bobine (a) et d'un aimant (b) (fig. 5) ou d'une autre bobine produisant un flux inducteur (fig. 6).
Bobine (a) induite. Aimant (ou bobine) (b) : inducteur.

2° par coupure ou établissement (ou variation) de courant dans une bobine inductrice (b) (fig. 7).

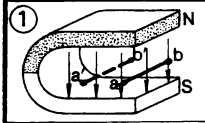
— **Valeur de la f.e.m. induite** : (formule 8).

$\Delta\Phi$: *variation du flux.*
Δt : durée de cette variation.

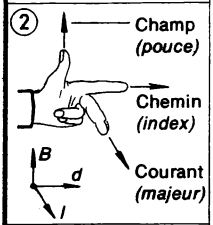
— **Sens du courant induit. Loi de Lenz.** Le courant induit est de sens tel que le flux qu'il produit s'oppose à la variation du flux inducteur qui lui donne naissance.

Exemple (fig. 9). A la fermeture du circuit de (b), φ_1 augmente : son sens est donné par la règle du tire-bouchon, soit $\leftarrow \varphi_1$.
Le flux φ_2 créé par (a) s'oppose à la variation de φ_1, donc tend à le diminuer, soit $\rightarrow \varphi_2$. La règle du tire-bouchon donne le sens du courant induit i_2 et les polarités + et −.

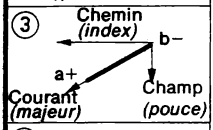
E. 15 | III - ÉLECTROMAGNÉTISME



— **Création d'une f.e.m.** à l'aide d'un conducteur coupant un flux. Fig. 1. Un flux uniforme est donné par un aimant NS. Un conducteur ab se déplace et coupe perpendiculairement ce flux. Il y a création d'une f.e.m. induite dans le conducteur. Si le déplacement se faisait parallèlement au flux il n'y aurait pas de f.e.m. induite.

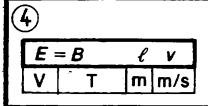


• **Sens** : dépend du sens du déplacement du conducteur par rapport au flux. Règle des trois doigts de la main gauche : (fig. 2). Sens du courant dans le conducteur ab : (fig. 3).



• **Valeur** : (formule 4).

B : Induction magnétique.
ℓ : longueur du conducteur.
v : vitesse de déplacement du conducteur.



Autoinduction.

Induction produite par un courant dans son propre circuit. La variation de l'intensité du courant qui circule dans une bobine provoque dans celle-ci une f.e.m. d'autoinduction.

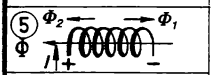
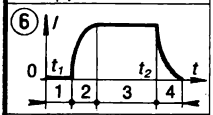
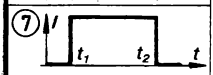


Fig. 5 : Le courant *I* produit un flux $\varphi \rightarrow$. A la fermeture du circuit, φ passe de 0 au maximum. Une f.e.m. est induite ; elle s'oppose à l'établissement du courant (loi de Lenz) : période 2 (fig. 6), φ_1 (fig. 5). A l'ouverture du circuit φ passe du maximum à 0. Une f.e.m. est à nouveau induite ; elle s'oppose à la suppression du courant : période 4, φ_2.
Dans un circuit sans inductance la variation de l'intensité est représentée par la figure 7.

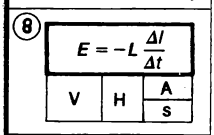




Valeur de la f.e.m. d'autoinduction : (formule 8).
L : inductance du circuit électrique. Henry (H) : unité d'inductance. Inductance d'un circuit dans lequel une variation de 1 A en 1 s produit une f.e.m. de 1 V.

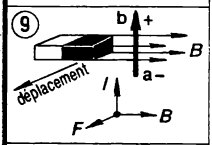
$$\Phi = LI$$

avec Φ en wéber, *L* en henry et *I* en ampère.



Courants de Foucault. Courants induits prenant naissance dans toute partie métallique placée dans un champ d'induction variable.

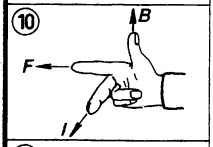
— *Nuisibles* dans les machines électriques où ils produisent un échauffement : diminution des inconvénients en feuilletant le métal parallèlement aux lignes d'induction ou en choisissant un matériau moins conducteur.



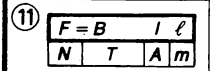
— *Utiles* dans certaines applications : amortissement des oscillations, freinage, fours à induction.

Forces magnétomotrices *F*.

Un conducteur ab (fig. 9) parcouru par un courant *I* et soumis à un champ d'induction magnétique *B*, dont les lignes de force lui sont perpendiculaires, subit une action qui tend à le déplacer.



— **Sens du déplacement** : règle des trois doigts de la main droite (fig. 10).



— **Valeur** (formule 11).

III - ÉLECTROMAGNÉTISME

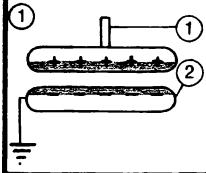
Applications

E. 16

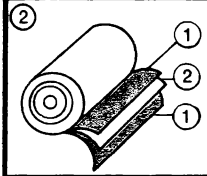
Problèmes	Solutions
I. Une bobine, d'une longueur de 500 mm, comprend 1 200 spires et est parcourue par un courant de 10 A. Calculer l'induction créée par cette bobine dans l'air.	**I.** La formule $B = \frac{4\pi}{10^7}\frac{NI}{\ell}\mu$ permet de calculer B. $N = 1\,200$ spires; $I = 10$ A; $\ell = 0{,}50$ m; $\mu = 1$, d'où $B = \frac{4\pi}{10^7} \times \frac{1\,200 \times 10 \times 1}{0{,}50} = \mathbf{0{,}03}$ T.
II. Un solénoïde droit, d'une longueur de 25 cm et d'un diamètre de 5 cm, est muni d'un bobinage de 250 spires. L'intensité du courant qui circule dans le bobinage est de 0,5 A. On introduit dans le solénoïde un cylindre en fonte de diamètre 40 mm. Calculer : *a*) l'induction créée par le solénoïde dans l'air; *b*) le flux magnétique à l'intérieur de la bobine, sans le cylindre; *c*) le nombre d'ampèretours par mètre; *d*) l'induction dans le cylindre en fonte, si $\mu = 700$, et le flux d'induction magnétique correspondant.	**II.** *a*) Induction dans l'air. $B = \frac{4\pi}{10^7}\frac{NI}{\ell}\mu$ avec $N = 250$; $I = 0{,}5$ A; $\mu = 1$; $\ell = 0{,}25$ m. $B = \frac{4\pi}{10^7} \times \frac{250 \times 0{,}5 \times 1}{0{,}25} = \frac{\mathbf{6{,}28}}{\mathbf{10^4}}$ T. *b*) Flux magnétique. $\Phi = Bs$ avec $s = \frac{\pi d^2}{4}$ et $d = 0{,}05$ m d'où $\Phi = \frac{6{,}28}{10^4} \times \frac{\pi \times 0{,}05 \times 0{,}05}{4} = \frac{\mathbf{1\,232}}{\mathbf{10^8}}$ Wb. *c*) Nombre d'ampèretours par mètre. $\frac{NI}{\ell} = \frac{250 \times 0{,}5}{0{,}25} = \mathbf{500}$ At/m. *d*) Induction. $B = B_{(air)}\mu = \frac{6{,}28}{10^4} \times 700 \approx \mathbf{0{,}44}$ T. Flux d'induction. $\Phi = BS = 0{,}44 \times \frac{\pi \times 0{,}04 \times 0{,}04}{4}$ $\approx \frac{\mathbf{5{,}53}}{\mathbf{10^4}}$ Wb.
III. Une spire de 4 cm de diamètre est placée dans un champ magnétique uniforme d'induction 0,5 T, perpendiculairement aux lignes de force. On l'en retire en 1/10e de seconde. Calculer la valeur de la f. e. m. induite. Dans le même champ, on déplace un conducteur de 4 cm de longueur à une vitesse de 10 m/s. Calculer la valeur de la f. e. m. induite.	**III.** *a*) F.e.m. induite dans la spire. $E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ or : $\Delta\Phi = \varphi_{max} - \varphi_0$ $\Delta t = \frac{1}{10}$ s $\Phi_{max} = BS = 0{,}5 \times \frac{\pi \times 0{,}04 \times 0{,}04}{4} = \frac{6{,}28}{10^4}$ Wb d'où $E = -\frac{6{,}28}{10^4} \times 10 = -\frac{6{,}28}{10^3}$ $= -\mathbf{0{,}006\,28}$ V $= -6{,}28$ mV. *b*) F.e.m. induite dans le conducteur. $E = Blv$ avec $B = 0{,}5$ T $\ell = 0{,}04$ m $v = 10$ m/s d'où $E = 0{,}5 \times 0{,}04 \times 10 = \mathbf{0{,}2}$ V.
IV. Calculer l'inductance d'une bobine si la f. e. m. induite en coupant un circuit de 10 A en 1/100e de seconde est de 1 V.	**IV.** De $E = L\frac{\Delta I}{\Delta t}$ on tire : $L = E \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$, avec $E = 1$ V d'où $\Delta t = 1/100$ s $\quad \Delta I = 10$ A $L = 1 \times \frac{1}{100 \times 10} = \mathbf{0{,}001}$ H $= 1$ mH.

E. 17 IV - ÉLECTROSTATIQUE

①



②



③

Matériaux	V/m
Air sec	$3 \cdot 10^6$
Porcelaine	$8 \cdot 10^6$
Papier paraffiné	$20 \cdot 10^6$
Verre	$50 \cdot 10^6$
Alumine	$60 \cdot 10^6$
Mica	$100 \cdot 10^6$

④

$$C = \frac{Q}{U}$$

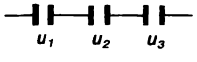
F	C
	V

⑤

$$W = \frac{1}{2} C U^2$$

J	F	V

⑥

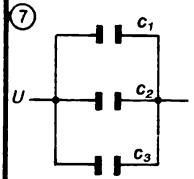


$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3}$$

Si même capacité :

$$C = \frac{c}{n}$$

⑦



$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

Influence réciproque des corps électrisés.

Lorsque deux disques parallèles sont séparés par une petite distance, les faces planes en regard portent pratiquement toutes les charges qui y sont réparties uniformément.
Fig. 1 : *(1)* Isolant. *(2)* Disques. Les charges se localisent sur les faces en regard.
L'ensemble constitue un condensateur dont les disques sont les armatures.

Constitution générale. Un condensateur est généralement constitué :
— de deux conducteurs métalliques, ou *armatures,* de grande surface ;
— d'une mince couche isolante d'épaisseur constante, les séparant, ou *diélectrique :* air, huile, papier, mica, céramique.
Fig. 2 : exemple d'un condensateur au papier constitué de deux longues feuilles d'aluminium *(1)* séparées par une bande de papier paraffiné *(2).* L'ensemble est enroulé afin de réduire l'encombrement.

Charge. Deux armatures d'un condensateur sont reliées, l'une au pôle + d'un générateur, l'autre au pôle − *(terre).* La première se recouvre uniformément de charges + dont la somme est $+Q$ et la deuxième, sous l'influence des charges précédentes, de charges − dont la somme est $-Q$. La quantité d'électricité Q est appelée *charge du condensateur.*

Décharge. Phénomène par lequel les charges opposées de deux armatures se neutralisent partiellement ou totalement.

Rigidité diélectrique. C'est la propriété d'une diélectrique de s'opposer à la décharge disruptive. Si le champ électrique est très intense le diélectrique peut devenir conducteur : le condensateur, hors d'usage, est dit *claqué* (décharge disruptive).
Tableau **3** : valeur de la rigidité en V/m de quelques matériaux isolants. Lorsque le champ dépasse ces valeurs une étincelle conductrice réunit les armatures et les décharges.

Capacité. La charge Q est proportionnelle à U. Le facteur de proportionnalité C caractérise le condensateur ; il mesure son aptitude à condenser l'électricité pour une d.d.p. donnée (formule 4).
— Unité : farad (F).
— Sous-multiples : microfarad (μF), $1\ \mu F = 10^{-6}$ F ; nanofarad (nF), $1\ nF = 10^{-9}$ F ; picofarad (pF), $1\ pF = 10^{-12}$ F.

Énergies mises en réserve dans un conducteur : formule 5.

Pertes diélectriques : elles représentent l'énergie transformée en chaleur dans un diélectrique soumis à un champ électrique variable.

Couplages : en série (fig. 6), en parallèle (fig. 7).

Application. Quelle est la capacité d'un condensateur qui s'est déchargé, en 10 ms, dans une résistance de 1 kΩ avec un courant de 0,4 A. Ce courant est constant pendant la décharge.

Solution.

$$C = \frac{Q}{U}, \quad \text{avec} \quad Q = It \quad et \quad U = RI$$

d'où C (en μF) $= \dfrac{10^6 \cdot 0{,}4 \cdot 10}{10^3 \cdot 10^3 \cdot 0{,}4} = 10\ \mu F.$

V - COURANT ALTERNATIF | E. 18

1. COURANT ALTERNATIF SIMPLE OU MONOPHASÉ

Courant alternatif sinusoïdal. Courant variant périodiquement en s'inversant ; courbe se rapprochant d'une sinusoïde.

Cycle. Ensemble des états ou des valeurs par lesquels passe un phénomène ou une fonction périodique avant de se reproduire identiquement.

Représentation cinématique ou vectorielle (fig. 1*a*), géométrique ou graphique (fig. 1*b*) : OM amplitude, α *phase à l'instant t.*

Amplitude. Valeur maximale prise par la fonction.

Période *T.* Intervalle de temps constant qui sépare deux époques auxquelles la courbe passe par la même valeur et cela dans le même sens.

Alternance. Demi-période *T/2.*

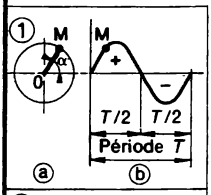
Fréquence *f.* Nombre de périodes par seconde ; inverse de la période (formule 2). Unité : Hertz (Hz).
Fréquence standard des secteurs français : 50 Hz.

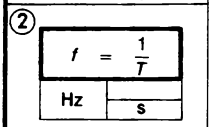
Bande de fréquence. Ensemble des fréquences comprises entre deux limites.

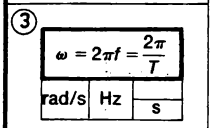
Pulsation ω ou vitesse angulaire (formule 3). Unité : radian par seconde (rad/s).

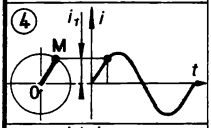
Valeur instantanée *(i, e).* Valeur de la grandeur variable à un instant donné (variable avec le temps) : i_1 (fig. 4).

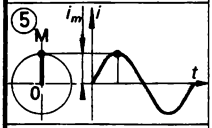
Valeur maximale. *(I_{max}, E_{max}).* Amplitude de la grandeur (indépendante du temps : i_m (fig. 5).

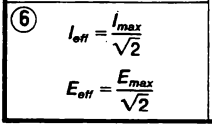












Valeur efficace. Valeur que devrait avoir un courant continu pour dépenser, dans une même résistance pure, la même énergie ou chaleur pendant chaque période (valeur utilisée couramment, sauf spécification contraire) (formule 6).
Désignation habituelle : *I, E, U.*

Valeur moyenne. Moyenne de toutes les valeurs que la grandeur prend pendant une période.

Valeur de crête. Maximum des valeurs que prend la grandeur dans un certain intervalle.

Remarque. Lorsque les électrons se déplacent toujours dans le même sens, le courant est continu.
Lorsque le déplacement des électrons s'effectue tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, le courant est dit alternatif. Le courant alternatif est produit par des générateurs électromécaniques (alternateurs).
Pour un courant alternatif de fréquence 50 Hz, les électrons se déplacent dans un sens pendant 1/100e de seconde, s'arrêtent, se déplacent en sens inverse pendant 1/100e de seconde, s'arrêtent, et ainsi de suite.

Application.

Déterminer la durée de périodes et la pulsation pour les fréquences : 50 Hz, 1 000 Hz et 500 kHz.

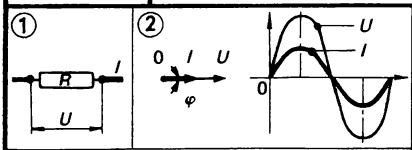
Solution :
Durée des périodes :

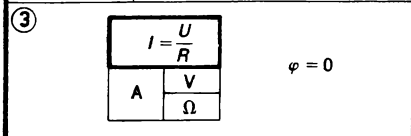
de $f = \frac{1}{T}$ on tire $T = \frac{1}{f}$

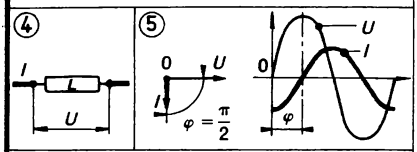
Pulsation : $\omega = 2\pi f$.

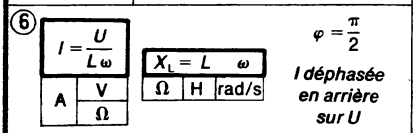
f en Hz	*T* en s	ω en rad/s
50	0,02 ou 2/100	314
1 000	0,001 ou 1/1 000	6 280
500 000	0,000 02 ou $2 \cdot 10^{-6}$	3 140 000

E. 19 V - COURANT ALTERNATIF



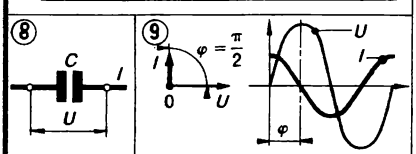


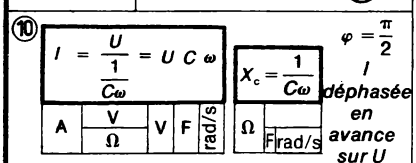


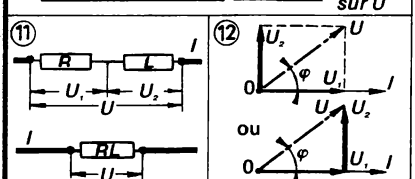


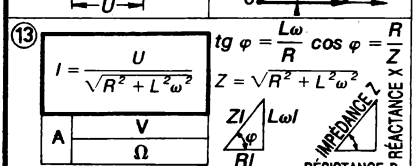
⑦

radian	2π	$\frac{3\pi}{2}$	π	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{4}$
degré	360	270	180	120	90	60	45









1.1 Circuits parcourus par un courant alternatif

Circuit résistant (ni inductance, ni capacité) (fig. 1, diagramme 2, formules 3). *R* ; résistance non inductive (pure). Les variations de *U* et *I* se produisent en même temps. Leurs maxima, leurs zéros et leurs minima ont lieu au même moment.

U et *I* sont en phase.

Circuit seulement inductif : (*R* négligeable, pas de capacité) : (fig. 4, diagramme 5, formules 6). X_L : réactance d'induction. *L* : inductance ou coefficient de self-induction en Henry (H).

Les maxima et minima de *U* et *I* n'ont pas lieu au même moment : *U* et *I* sont *déphasés.* La valeur du déphasage est mesurée par l'angle φ *exprimé généralement en radians, ou en degrés.*

Fig. 7 : tableau de concordance de quelques angles remarquables.

Circuit comprenant seulement un condensateur (*R* et *L* négligeables), (fig. 8, diagramme 9, formules 10).

X_C : réactance de capacité ou capacitance.

C : capacité du condensateur.

Circuit comprenant une résistance et une inductance en série, ou résistance inductive (fig. 11).

Diagramme (fig. 12). Construction :

- Origine des phases *I* ;
- $U_1 = RI$ en phase avec *I* ;
- $U_2 = L\omega I$ déphasé de $\frac{\pi}{2}$ en avance sur *I* ;
- $\vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_2$.

Formules 13. *Z* : impédance du circuit.

Application. Quelle est la tension aux bornes d'une bobine de résistance 150 Ω, d'inductance 0,5 H et parcourue par un courant alternatif de 3 A à la fréquence de 50 Hz?

Solution.

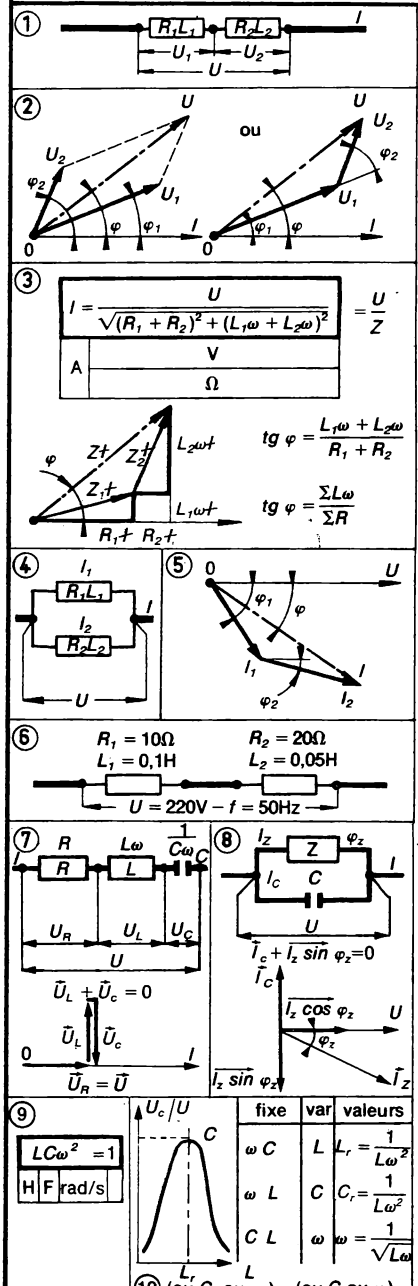
La formule $I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}$

permet de tirer

$$U = I\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$$

avec $I = 3$ A ; $R = 150\ \Omega$; $L = 0{,}5$ H ;
$\omega = 2\pi f = 2 \times 3{,}14 \times 50 = 314$ rad/s

d'où $U = 3\sqrt{150^2 + 0{,}5^2 \times 314^2} \approx 651$ V.



Groupement de deux résistances inductives en série (fig. 1).

Diagramme (fig. 2). Construction :
Origine des phases : I;

grandeur $Z_1 I = \sqrt{R_1^2 + L_1^2\omega^2}$

phase φ_1 : $tg\ \varphi_1 = \frac{L_1\omega}{R_1}$;

grandeur $Z_2 I = \sqrt{R_2^2 + L_2^2\omega^2}$

phase φ_2 : $tg\ \varphi_2 = \frac{L_2\omega}{R_2}$.

Groupement de deux résistances inductives en dérivation (fig. 4).

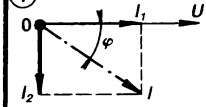
Diagramme (fig. 5). Construction : même principe que ci-dessus, mais l'origine des phases est U (phase commune à R_1L_1 et R_2L_2).
Phénomène présenté par un système oscillant dans lequel la période des oscillations libres *(indépendantes de toute intervention extérieure)* est la même que celle des oscillations forcées *(fréquence imposée par un système générateur)*.
Il y a résonance quand les composantes réactives de la tension ou du courant s'annulent.

— **Résonance série** (fig. 7). La réactance s'annule et l'impédance Z se réduit à la résistance R : c'est la valeur minimale qu'elle puisse prendre.
Si R est très petite devant les réactances de la capacité ($1/C\omega$) et de l'inductance ($L\omega$) le courant est intense. La surtension devient très grande. Celle-ci se définit comme le rapport entre les tensions U_C et U.
Lorsqu'on fait varier d'une façon continue l'une des trois grandeurs L, C ou ω, l'impédance prend sa valeur minimale R lorsque la condition de résonance $LC\omega^2 = 1$ est vérifiée (formule 9).
I, produit par U, prend sa valeur maximale ; il en est de même de U_c et de U_c/U. Les graphes correspondants sont des courbes de résonance (fig. 10).

— **Résonance parallèle** (circuit « bouchon »), (fig. 8). Le circuit bouchon constitue un circuit oscillant : séparé de toute source il oscille indéfiniment (théorie qui suppose rigoureusement nulle la résistance du circuit).
La condition de résonance est donnée par la formule 9.

— **Conséquences et applications.** Les phénomènes de résonance peuvent produire de grandes surtensions ou de grandes surintensités : grands désordres sur le réseau, utilité dans les télécommunications *(haute fréquence)*.

①



②

$I_1 = I \cos \varphi$

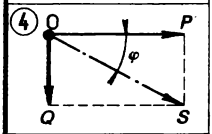
$I_2 = I \sin \varphi$

$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$

③

$I = \sqrt{\Sigma I_1^2 + \Sigma I_2^2}$

④



⑤

$S = U \quad I$		
VA	V	A

⑥

$P = U \quad I \cos \varphi$		
W	V	A

⑦

$Q = U \quad I \sin \varphi$		
var	V	A

⑧

$\cos \varphi = \frac{P}{S}$	
	W
	VA

⑨

$P = S \cos \varphi$

$Q = S \sin \varphi$

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

⑩

$S = \sqrt{\Sigma P^2 + \Sigma Q^2}$

1.2. Composantes d'un courant.

Le courant I passant dans une portion de circuit peut être considéré comme la résultante de deux autres : l'un I_1 en concordance de phase avec la tension, l'autre I_2 en quadrature (fig. 1).
I_1 : composante active ;
I_2 : composante réactive (formules 2).
Cas de plusieurs récepteurs montés en dérivation (formule 3).

1.3. Composantes d'une puissance.

Puissance apparente S (fig. 4 et formule 5). Résultante des puissances P et Q.

Puissance active (réelle ou wattée) P : puissance agissant effectivement dans une portion de circuit (formule 6). *Cos* φ : cosinus de l'angle de déphasage formé par U et I.

Puissance réactive (magnétique ou déwattée) Q (formule 7).

Facteur de puissance, ou *cos* φ : rapport de la puissance active à la puissance apparente (nombre abstrait compris entre 0 et 1) (formule 8).

Relations entre puissances (formule 9).

Cas de plusieurs récepteurs (formule 10).
S **peut se déterminer à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre ;**
P, **à l'aide d'un wattmètre actif ;**
Q, **à l'aide d'un wattmètre réactif ;**
cos φ, **à l'aide d'un phasemètre.**

Application. Un alternateur monophasé a les caractéristiques suivantes : $P = 36$ kVA, $U = 220$ V. Calculer la puissance active qu'on peut lui demander et l'intensité débitée dans les cas suivants :
a) circuit d'éclairage ;
b) circuit avec $\cos \varphi_1 = 0{,}8$;
c) circuit avec $\cos \varphi_2 = 0{,}2$.
Calculer la puissance réactive correspondant au cas (c).

Solution.

a) Circuit d'éclairage :

$$P = S \cos \varphi = 36\,000 \times 1 = \mathbf{36\,000}\ \text{W}$$

$$I = \frac{S}{U} = \frac{36\,000}{220} \approx \mathbf{164}\ \text{A}.$$

b) Circuit avec $\cos \varphi_1 = 0{,}8$:

$$P = 36\,000 \times 0{,}8 = \mathbf{28\,000}\ \text{W}$$

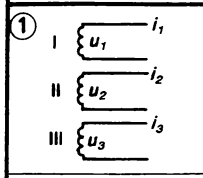
$$I = \frac{36\,000}{220} \approx \mathbf{164}\ \text{A}.$$

c) Circuit avec $\varphi_2 = 0{,}2$:

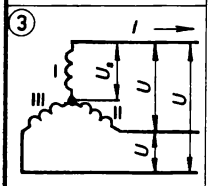
$$P = 36\,000 \times 0{,}2 = \mathbf{7\,200}\ \text{W}$$

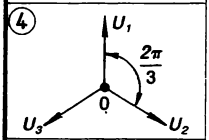
$$I = \frac{36\,000}{220} \approx \mathbf{164}\ \text{A}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{36\,000^2 - 7\,200^2} \approx \mathbf{35\,270}\ \text{var}.$$

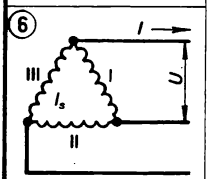


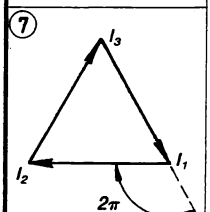
② $i_1 + i_2 + i_3 = 0$



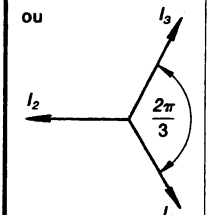


⑤ $U = U_s \sqrt{3}$





ou



⑧ $I = I_s \sqrt{3}$

2. COURANT ALTERNATIF POLYPHASÉ

2.1. **Triphasé.**

Système de trois grandeurs sinusoïdales de même valeur efficace et déphasées l'une par rapport à l'autre de $\frac{2\pi}{3}$ *ou 120° (fig. 1).*

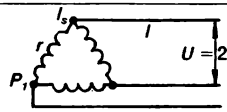
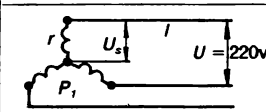
A chaque instant la somme des intensités des trois courants triphasés égaux est nulle (formule 2).

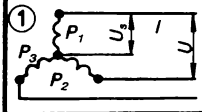
Montage étoilé λ : système de trois phases dont l'une des extrémités est réunie en un point commun *(neutre)*, les autres étant raccordées aux fils de ligne (figures 3-4).
L'intensité dans chaque conducteur de ligne est égale à l'intensité qui circule dans chaque phase. Si les phases sont chargées également, l'intensité du courant dans le conducteur neutre est nulle. Ce dernier peut être supprimé, d'où système à 3 ou 4 conducteurs.
Formule 5 : U tension entre phases (composée).
U_S tension entre phase et neutre (simple).

Montage triangle Δ : système de trois phases réunies en série et dont chaque connexion est reliée à un conducteur de ligne (fig. 6-7).
Intensité composée : (formule 8).
Tension de la ligne identique à la tension entre phases.

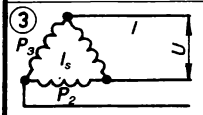
Application. Un appareil de chauffage triphasé comprend trois groupes de résistances égales $r = 20\,\Omega$ montées successivement en Δ et en λ sur un réseau de 220 V. Déterminer dans chacun des deux montages : la puissance totale de chauffe, l'intensité absorbée en ligne et dans chaque résistance.

Solution.

	Montage Δ	Montage λ
		
a	$P = 3P_1$ $P_1 = \frac{U^2}{r} = \frac{220 \times 220}{20} = 2\,420$ W d'où $P = 3 \times 2\,420 = \mathbf{7\,260}$ W	$P = 3P_1$ $P_1 = \frac{U_s^2}{r} = \frac{U^2}{\sqrt{3}\sqrt{3}r} = \frac{U^2}{3r}$ d'où $P = \frac{3 \times U^2}{3 \times r} = \frac{U^2}{r} = \frac{220 \times 220}{20} = \mathbf{2\,420}$ W
b	$I = \frac{P}{\sqrt{3}U} = \frac{7\,260}{\sqrt{3} \times 220} \approx \mathbf{19{,}2}$ A	$I = \frac{2\,420}{\sqrt{3} \times 220} = \mathbf{6{,}4}$ A
c	$I_s = \frac{U}{r} = \frac{220}{20} = \mathbf{11}$ A ou $I_s = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{P}{\sqrt{3}\sqrt{3}U} = \frac{P}{3U}$ $= \frac{7\,260}{3 \times 220} = \mathbf{11}$ A	$I = \mathbf{6{,}4}$ A. L'intensité du courant dans chaque résistance est identique à celle qui circule dans la ligne.

① 

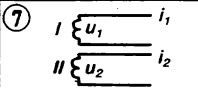
②
$P = P_1 + P_2 + P_3 = 3P_1$
$P_1 = U_s I \cos \varphi$
d'où $P = 3U_s I \cos \varphi$
$= \sqrt{3} UI \cos \varphi$

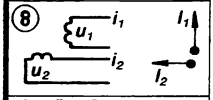
③ 

④ $P_1 = UI_s \cos \varphi$
$= 3UI_s \cos \varphi$
$= \sqrt{3} UI \cos \varphi$

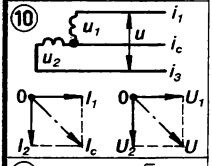
⑤ $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$
$S = \sqrt{3} UI$
$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi$

⑥
$\lambda P = U_{s1} I_1 \cos \varphi_1$
$+ U_{s2} I_2 \cos \varphi_2$
$+ U_{s3} I_3 \cos \varphi_3$
$\Delta P = U_1 I_{s1} \cos \varphi_1$
$+ U_2 I_{s2} \cos \varphi_2$
$+ U_3 I_{s3} \cos \varphi_3$

⑦ 

⑧ 

⑨ $P = P_1 + P_2$
$= U_1 I_1 \cos \varphi_1$
$+ U_2 I_2 \cos \varphi_2$

⑩ 

⑪ $I = I_s \sqrt{2}$

⑫ $U = U_s \sqrt{2}$

⑬ $P = UI_s \sqrt{2} \cos \varphi$
$S = UI_s \sqrt{2}$
$Q = UI_s \sqrt{2} \sin \varphi$

Puissance

— **Circuits équilibrés :** la puissance totale absorbée *(P, S* ou *Q)* est égale à la *somme* des puissances absorbées dans chaque phase.
Montage λ (fig. 1) : puissance active (formules 2). φ : déphasage entre U_S et I.
Montage Δ (fig. 3) : puissance active (formules 4).
Puissance active, apparente, réactive (formules 5 identiques pour λ et Δ).

— **Circuits déséquilibrés** (formules 6).

Application. Au tableau de distribution d'un atelier arrivent les 4 fils du triphasé 220/380 V. L'installation comporte :
— 60 lampes de 220 V 40 W ;
— 4 moteurs triphasés identiques de puissance mécanique 1 500 W, rendement 0,75, avec $\cos \varphi = 0{,}8$. (branchement étoilé).
Calculer :
a) la puissance absorbée par les lampes.
b) pour chaque moteur :
1° la puissance active ;
2° l'intensité du courant en ligne ;
3° la puissance apparente ;
4° la puissance réactive.
c) l'énergie consommée pendant 6 h de fonctionnement des 60 lampes et des 4 moteurs.

Solution.

a) $P = 40 \times 60 = \mathbf{2\,400}$ W.

b) 1. $P = \dfrac{P_m}{\eta} = \dfrac{1\,500}{0{,}75} = \mathbf{2\,000}$ W.

2. $I = \dfrac{P}{U\sqrt{3} \cos \varphi} = \dfrac{2\,000}{380 \times \sqrt{3} \times 0{,}8} \approx \mathbf{3{,}8}$ A.

3. $S = \dfrac{P}{\cos \varphi} = \dfrac{2\,000}{0{,}8} = \mathbf{2\,500}$ VA.

4. $Q = S \sin \varphi = \dfrac{P}{\cos \varphi} \times \sin \varphi = \dfrac{2\,000 \times 0{,}6}{0{,}8} = \mathbf{1\,500}$ var.

c) Lampes : $W_1 = 2\,400 \times 6 = 14\,400$ Wh.
Moteurs : $W_2 = 2\,000 \times 4 \times 6 = 48\,000$ Wh.
Énergie totale : $14\,400 + 48\,000 = 62\,400$ Wh ou 64,2 kWh.

2.2. Diphasé.

Système de deux grandeurs sinusoïdales de même valeur efficace et déphasées l'une par rapport à l'autre de $\pi/2$ ou 90° (fig. 7).

— **Montage à quatre fils** (fig. 8).
Puissance : (formules 9).

— **Montage à trois fils** (fig. 10). i_c conducteur commun. Intensité : (formule 11). Tension (formule 12). Puissance (formules 13). φ *déphasage entre* U_S et I_S.

Application. Un moteur diphasé de 7 000 W, rendement 0,7 avec $\cos \varphi = 0{,}8$, est branché sur un réseau diphasé à 3 fils dont la tension simple est de 115 V. Calculer : *a)* sa puissance active ; *b)* l'intensité absorbée par chaque enroulement ; *c)* l'intensité en ligne ; *d)* l'intensité dans le conducteur commun ; *e)* la tension entre les fils de phase.

Solution.

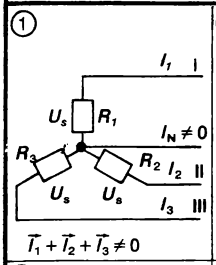
a) $P = \dfrac{P_m}{\eta} = \dfrac{7\,000}{0{,}7} = \mathbf{10\,000}$ W.

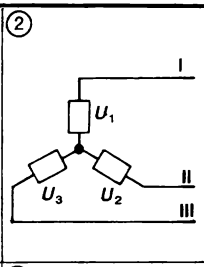
b) $I_s = \dfrac{P}{2U_s \cos \varphi}$ ou $\dfrac{P}{U\sqrt{2} \cos \varphi} = \dfrac{10\,000}{2 \times 115 \times 0{,}8} \approx \mathbf{54{,}3}$ A.

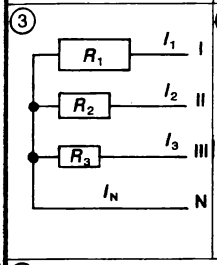
c) $I = I_s = \mathbf{54{,}3}$ A.

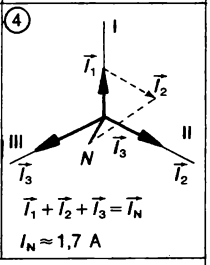
d) $I_c = I\sqrt{2} = 54{,}3\sqrt{2} \approx \mathbf{76{,}8}$ A.

e) $U = U_s\sqrt{2} = 115\sqrt{2} \approx \mathbf{162{,}6}$ V.



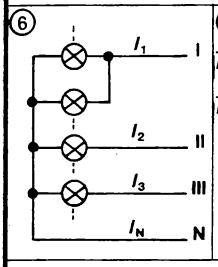


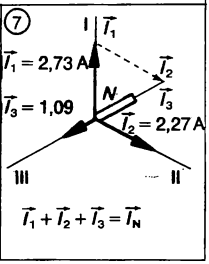




⑤

$$I_N=\sqrt{\left(I_1-\frac{I_2+I_3}{2}\right)^2+\frac{3}{4}(I_3-I_2)^2}$$





3. **CIRCUITS** déséquilibrés (étoile).
Si les branches d'un circuit triphasé en étoile ne sont pas identiques, la somme des intensités n'est pas nulle.
Le fil neutre est parcouru par un courant, différent de 0 (fig. 1). Le circuit est *déséquilibré.*
Si le fil neutre d'alimentation est supprimé, les tensions simples sont inégales, créant un fonctionnement défectueux (fig. 2). Certains appareils peuvent être détériorés par suite d'une surtension. En régime déséquilibré le fil neutre est indispensable afin que chaque récepteur soit alimenté par une tension normale.
Pour évaluer le courant circulant dans le fil neutre on compose graphiquement les trois courants.
La figure 3 représente une installation alimentée par un réseau triphasé (circuits purement résistants). Les intensités dans chacune des branches sont 3 A, 4 A et 5 A.
La figure 4 représente graphiquement ces trois intensités. Leur composition détermine I_N.
Le diagramme permet d'établir une formule exprimant la valeur de I_N en fonction des courants I_1, I_2 et I_3 dans chacune des trois phases respectives (fig. 5).
Dans le cas de l'exemple précédent :

$$I_N=\sqrt{\left(3-\frac{4+5}{2}\right)^2+\frac{3}{4}(5-4)^2}$$

$$=\sqrt{(-1{,}5)^2+\frac{3}{4}}=\sqrt{2{,}25+0{,}75}=\sqrt{3}\approx 1{,}73 \text{ A.}$$

Application. Une installation d'éclairage alimentée par un secteur triphasé à quatre fils (220 V entre phase et neutre) comprend :
— Phase I : 2 lampes 220 V - 200 W
2 lampes 220 V - 100 W
— Phase II : 5 lampes 220 V - 100 W
— Phase III : 4 lampes 220 V - 60 W

1. Quel est le courant circulant dans le fil neutre quand toutes les lampes fonctionnent dans ces conditions?

2. Que devient ce courant en cas de rupture accidentelle de la phase I_1?

Solutions

La formule 5 montre la nécessité de calculer I_1, I_2 et I_3.
1. Lampes fonctionnent normalement.
Phase I : calcul de $I_1=\frac{P_1}{U}$ avec $P_1=2\times 200+2\times 100=600$ W et $U=220$ V
d'où $I_1=\frac{600}{220}\approx 2{,}73$ A.
Phase II : $I_2=\frac{5\times 100}{220}\approx 2{,}27$ A.
Phase III : $I_3=\frac{4\times 60}{220}\approx 1{,}09$ A
d'où

$$I_N=\sqrt{\left(2{,}73-\frac{2{,}27+1{,}09}{2}\right)^2+\frac{3}{4}(1{,}09-2{,}27)^2}$$

$\approx$ **1,46** A
2. Coupure de la phase I.
Les lampes branchées sur cette phase ne sont plus alimentées, donc $I_1=0$
d'où

$$I_N=\sqrt{\left(\frac{2{,}27+1{,}09}{2}\right)^2+\frac{3}{4}(1{,}09-2{,}27)^2}$$

$\approx$ **2** A.
Vérification. Diagramme (fig. 7).

4. IMPORTANCE DU FACTEUR DE PUISSANCE

L'usager consomme une puissance active $P = UI \cos \varphi$; l'énergie électrique est transformée en énergie calorifique, mécanique ou chimique. La ligne doit fournir $I = \dfrac{P}{U \cos \varphi}$.

Sous tension constante et pour une certaine puissance active, la formule montre que I est inversement proportionnel au facteur de puissance.

D'autre part, les pertes thermiques dans la ligne et les machines sont d'autant plus grandes que le $\cos \varphi$ est plus faible. Ces pertes, supportées par le fournisseur, obligent ce dernier à dimensionner plus largement les machines et la ligne (conducteurs et accessoires).

Pour se dédommager de la mauvaise utilisation du matériel, le fournisseur pénalise le consommateur. Par contre, une bonification est accordée à l'usager si le $\cos \varphi$ dépasse 0,9.

En outre, un $\cos \varphi$ faible entraîne pour le consommateur l'augmentation du prix de son transformateur, de l'appareillage et de la ligne, l'augmentation des chutes de tension et des pertes.

On améliore le facteur de puissance en diminuant la puissance réactive consommée (batterie de condensateurs).

Application. Un industriel, dont l'installation fonctionne en courant alternatif triphasé 220 V 50 Hz, a relevé sur les compteurs d'énergie active et réactive, pour 1 000 h de fonctionnement : $W = 50\,000$ kWh et $W_r = 86\,600$ kvar. Déterminer :

a) les puissances active et réactive moyennes ;

b) le $\cos \varphi$ moyen de l'installation ;

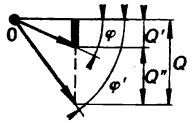
c) l'intensité dans la ligne.

La puissance active restant constante et le $\cos \varphi$ moyen étant relevé à 0,9 ($\sin \varphi = 0{,}43$, $\operatorname{tg} \varphi = 0{,}48$) à l'aide de condensateurs, déterminer :

d) la puissance réactive après compensation, la puissance réactive négative fournie par les condensateurs et la nouvelle intensité en ligne :

e) la capacité de chacun des condensateurs montés en λ puis en Δ.

Solution.



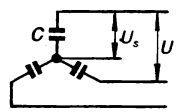
a) de $W = P \cdot t$, on tire $P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{50\,000}{1\,000} = \mathbf{50}$ kW

$$Q = \frac{W_r}{t} = \frac{86\,600}{1\,000} = \mathbf{86{,}6} \text{ kvar.}$$

b) $\cos \varphi = \dfrac{P}{S}$ avec $P = 50$ kW

et $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{50^2 + 86{,}6^2} = 100$ kVA

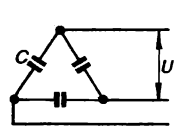
d'où $\cos \varphi = \dfrac{50}{100} = \mathbf{0{,}5}$



c) de $S = UI\sqrt{3}$, on tire $I = \dfrac{S}{U\sqrt{3}} = \dfrac{100\,000}{220\sqrt{3}} \approx \mathbf{263}$ A

d)
$$Q' = P \operatorname{tg} \varphi' = 50 \times 0{,}48 = \mathbf{24} \text{ kvar}$$
$$Q'' = Q - Q' = 86{,}6 - 24 = \mathbf{62{,}6} \text{ kvar}$$

$$I' = \frac{P}{U\sqrt{3} \cos \varphi'} = \frac{50\,000}{220 \times \sqrt{3} \times 0{,}9} \approx \mathbf{146} \text{ A.}$$

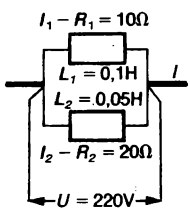
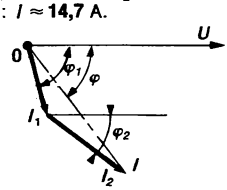


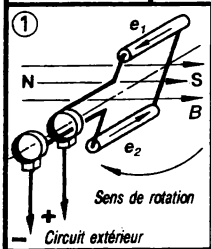
e) Dans chacun des deux montages, la puissance réactive fournie par chaque condensateur est de $q'' = \dfrac{Q''}{3} = \dfrac{62\,600}{3} = 20\,867$ var.

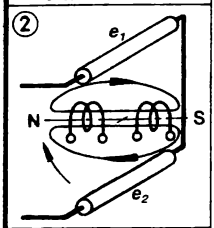
Or $q'' = UI = U^2 C\omega$ d'où $C = \dfrac{q''}{U^2 \omega}$, avec $\omega = 2\pi f = 314$ rad/s.

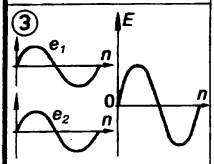
Montage λ : $C = \dfrac{q''}{U_s^2 \omega} = \dfrac{20\,867}{\left(\dfrac{220}{\sqrt{3}}\right)^2 \times 314} \approx 0{,}004\,119 \text{ F} = \mathbf{4\,119}\ \mu\text{F}.$

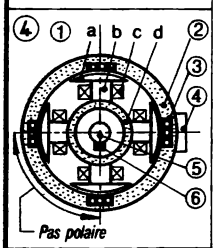
Montage Δ : $C = \dfrac{q''}{U^2 \omega} = \dfrac{20\,867}{220 \times 220 \times 314} \approx 0{,}001\,373 \text{ F} = \mathbf{1\,373}\ \mu\text{F}.$

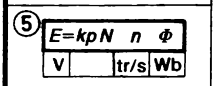
Applications.	Problèmes.
I. Déterminer la f. e. m. efficace d'un alternateur dont la f. e. m. maximale est de 311 V.	$E_{eff} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{311}{\sqrt{2}} \approx \mathbf{220}$ V.
II. Une bobine de résistance négligeable et d'inductance 100 mH est alimentée sous une tension de 220 V; $f_1 = 50$ Hz puis $f_2 = 25$ Hz. Calculer sa réactance d'induction et l'intensité du courant absorbé dans les deux cas.	*a*) Pour $f = 50$ Hz $X_1 = L\omega_1 = \frac{100}{1\,000} \times 314 = \mathbf{31,4}\ \Omega$ $I_1 = \frac{U}{L\omega_1} = \frac{220}{31,4} \approx \mathbf{7}$ A. *b*) Pour $f = 25$ Hz $X_2 = L\omega_2 = \frac{100}{1\,000} \times 157 = \mathbf{15,7}\ \Omega$ $I_2 = \frac{U}{L\omega_2} = \frac{220}{15,7} \approx \mathbf{14}$ A.
III. Étant donné le montage 6 E.20, calculer l'impédance du circuit et l'intensité du courant absorbé.	*a*) $Z = \sqrt{(10+20)^2 + [(0,1 \times 314) + (0,05 \times 314)]^2}$ $= \sqrt{3\,118} \approx \mathbf{55,8}\ \Omega$. *b*) $I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{55,8} \approx \mathbf{4}$ A.
IV. Les deux bobines utilisées dans le montage 6 E.20 sont branchées en dérivation et alimentées sous 220 V, $f = 50$ Hz. Calculer les intensités absorbées par chacune des bobines et par le groupement.  	*a*) Intensité I_1. $I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{220}{\sqrt{(10)^2 + (0,1 \times 314)^2}} \approx \frac{220}{33} \approx \mathbf{6,7}$ A. *b*) Intensité I_2. $I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{220}{\sqrt{(20)^2 + (0,05 \times 314)^2}} \approx \frac{220}{25,4} \approx \mathbf{8,7}$ A. *c*) Intensité I. Graphiquement : $\vec{I} = \vec{I_1} + \vec{I_2}$ avec $I_1 = 6,66$ A, $tg\ \varphi_1 = \frac{L_1\omega}{R_1} = \frac{31,4}{10} = 3,14$ et $I_2 = 8,66$ A, $tg\ \varphi_2 = \frac{L_2\omega}{R_2} = \frac{15,7}{20} = 0,785$. Construction. Origine des phases : U. Tracer la direction I_1 et porter (à l'échelle) 6,7. Tracer la direction I_2 et porter (à l'échelle) 8,7. Joindre OI_2 et mesurer. A l'échelle : $I \approx \mathbf{14,7}$ A. 
V. Un circuit comprend en parallèle une bobine d'induction $L = 0,1$ H et un condensateur C. On demande la valeur de C, pour que le courant absorbé par l'ensemble soit minimal avec une fréquence de 50 Hz.	De $LC\omega^2 = 1$ on tire $C = \frac{1}{L\omega^2}$ avec $L = 0,1$ H et $\omega = 2\pi f = 2 \times 3,14 \times 50$ d'où $C = \frac{1 \times 10^6}{0,1 \times \overline{2 \times 3,14 \times 50}^2} \approx \mathbf{100}\ \mu$F.

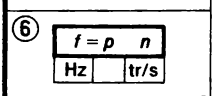


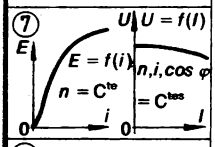


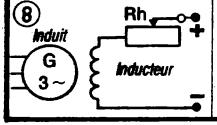












1. MACHINES À COURANT ALTERNATIF

1.1. **Générateurs synchrones** (alternateurs).

Machines transformant l'énergie mécanique fournie par un moteur en énergie électrique sous forme de courant alternatif.

Principe de fonctionnement. Production d'un f.e.m. induite dans des conducteurs par déplacement relatif de ces conducteurs et d'un champ inducteur (lois de Lenz et du flux coupé, règle des trois doigts de la main gauche).

Fig. 1. Les conducteurs (induit ou rotor) se déplacent dans un champ fixe N.S. (inducteur ou stator).

Fig. 2. Les conducteurs sont fixes (stator), le champ inducteur est variable (rotation des bobines inductrices) : cas des alternateurs industriels puissants.

Fig. 3. Variation de la f.e.m. Les conducteurs sont réunis de manière que leur f.e.m. instantanées s'ajoutent ($E = e_1 + e_2$) pour un tour.

Constitution générale. Cas des inducteurs tournants (pôles saillants).

Fig. 4 : *(1)* Système inducteur ou rotor : *Exemple :* 4 pôles (tétrapolaire) *(a)* Pièce polaire, *(b)* Noyau, *(c)* Bobine, *(d)* Roue polaire; *(2)* Système induit ou stator. *Exemple :* monophasé. *(3)* Encoche contenant les conducteurs; *(4)* Plaque à bornes; *(5)* Bagues; *(6)* Balais.

Différents types :

- d'après le nombre de pôles (bipolaire, tétrapolaire, etc.),
- d'après le nombre de phases (monophasé, triphasé, etc.).

Grandeurs caractéristiques.

— **F.e.m. :** (formule 5). *N :* nombre de conducteurs induits. *n :* nombre de tours par seconde. *Φ :* flux produit par un pôle. *p :* nombre de paires de pôles. *k :* coefficient de Kapp.

— Fréquence : (formule 6).

Un alternateur est caractérisé par sa puissance apparente *S* (sous tension constante, son débit en A est limité par l'élévation de température acceptable). La plaque signalétique comporte : nom du constructeur, type, numéro, puissance en VA ou kVA, fréquence, tension, nombre de phases, nombre de tours par minute, intensité, nature du service et caractéristiques d'excitation (tension, intensité).

Caractéristiques de fonctionnement.

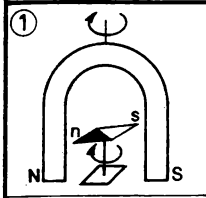
— Caractéristique à vide : $E = f(i)$ pour $n = c^t$ (fig. 7).

— Caractéristique en charge : $U = f(I)$ pour i, n et $\cos\varphi$ *constants (fig. 7).*

— Chute de tension : $E - U$.

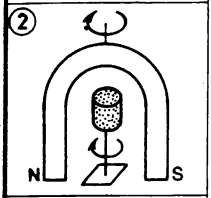
— Chute de tension relative : $\frac{E - U}{E}$.

Réglage de la tension : emploi d'un rhéostat d'excitation permettant de régler i (fig. 8).



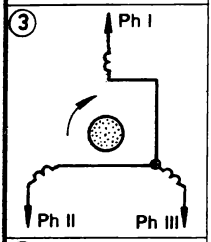
1.2. **Moteurs.**

Champ tournant créé par un aimant (fig. 1). L'aimant, en tournant, entraîne une aiguille aimantée placée entre N. S. (forces électromagnétiques). Elle tourne à la même vitesse que l'aimant. Un disque (fig. 2) tourne également dans le même sens mais à une vitesse légèrement inférieure à celle de l'aimant ; il y a glissement.



Champ tournant créé par des systèmes immobiles de courants polyphasés I, II, III (fig. 3).

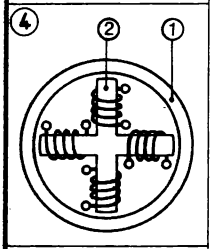
Le disque tourne dans un sens ; en intervertissant deux phases (I, II par exemple), le disque tourne en sens inverse.
Si le disque est remplacé par un aimant, celui-ci est entraîné, à condition d'être lancé au préalable.



Moteurs synchrones triphasés.

Principe du fonctionnement (fig. 3, avec un aimant à la place du disque).

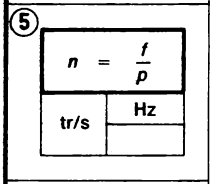
Constitution (fig. 4) : *(1)* Organe fixe *(stator)* formé de tôles portant des enroulements alimentés par des courants triphasés qui créent un champ tournant ; *(2)* Organe mobile *(rotor ou inducteur)* alimenté par du courant continu.



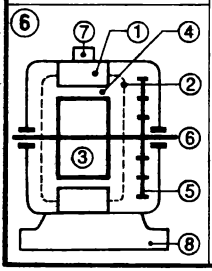
— **Vitesse de rotation** n (formule 5).

— **Démarrage** : amener l'inducteur à la vitesse de synchronisme, régler la f. c. e. m. du moteur à la valeur de la tension du secteur, mettre en concordance de phase la tension du moteur et celle du secteur, vérifier le sens du champ tournant, effectuer le couplage et mettre hors circuit le moteur d'entraînement.

— **Entraînement** : par moteur auxiliaire de lancement (moteur asyncrone à bagues), moteur à courant continu (cas d'un groupe convertisseur), directement en moteur asynchrone (roue polaire munie d'amortisseurs).



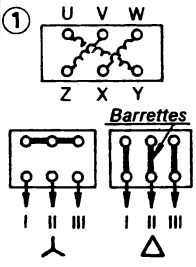
— **Usages** : (recherche d'une vitesse constante). Groupe moteur générateur à vitesse invariable : distribution par courant continu à tension constante (traction, commande d'appareils de levage et de manutention, etc.), métiers à tisser, amélioration du facteur de puissance des installations (comprensateur synchrone).



Moteurs asynchrones triphasés à champ tournant.

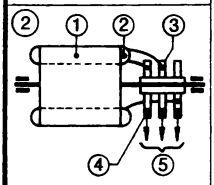
— Principe du fonctionnement (fig. 3). Création du champ tournant *(stator)*. Les courants induits dans le *rotor* font tourner celui-ci dans le même sens que le champ (loi de Lenz).

Constitution (fig. 6) : *(1)* Stator; *(2)* Enroulement; *(3)* Rotor; *(4)* Entrefer; *(5)* Ventilateur; *(6)* Arbre; *(7)* Plaque à bornes; *(8)* Carcasse.

① 

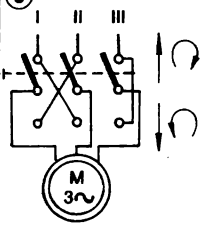
— **Stator :** tôles empilées et serrées dans une carcasse en fonte, encochées pour loger les enroulements. La vitesse recherchée imposant un nombre de pôles déterminé, on construit des stators à 2, 4, 6, 8, etc., pôles.
Les enroulements sont réunis sur une plaque à bornes (raccordement avec l'alimentation). La disposition de la plaque à bornes permet de réaliser les branchements λ ou Δ selon la tension du réseau et la tension que l'on admet aux bornes de chaque enroulement (fig. 1).

Exemple : moteur 220/380 V (220 V aux bornes de chaque enroulement), secteur 380 V. Branchement λ pour avoir $\frac{380}{\sqrt{3}} = 220$ V.

② 

— **Rotor :** cylindre de tôles empilées, claveté sur l'arbre du moteur ; les tôles sont encochées. A l'intérieur des encoches on coule de l'aluminium : cas des *rotors en court-circuit* ou *cage d'écureuil.*
Dans le cas des *rotors bobinés* ou *à bagues,* trois enroulements montés en λ sont logés dans les encoches. Les trois extrémités libres aboutissent à trois bagues isolées qui sont clavetées sur l'arbre.

Fig. 2 : *(1)* Tôles ; *(2)* Bobinage ; *(3)* Bagues ; *(4)* Balais frottant sur les bagues ; *(5)* Vers le rhéostat de démarrage.

③ *Secteur*


Grandeurs caractéristiques.

④ $g = \frac{n - n'}{n}$

• **Sens de rotation.** L'inversion s'obtient en intervertissant deux fils d'alimentation (fig. 3).

⑤ $P = UI\sqrt{3}\cos\varphi$

• **Vitesse de rotation** n' : mesurée au tachymètre. Dépend du nombre de pôles du moteur et de la fréquence du réseau. La vitesse du rotor n' est légèrement inférieure à celle du synchronisme n.

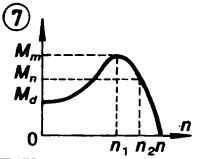
⑥ $P_m = UI\sqrt{3}\cos\varphi\eta$

$P_m = 2\pi n M$		
W	tr/s	N-m

• **Glissement** g (formule 4).

• **Puissance absorbée** P (formule 5).

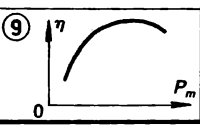
• **Puissance mécanique sur l'arbre** P_m (formule 6).
M : moment du couple.

⑦ 

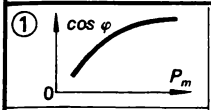
• **Intensité.** I_0 (à vide) est surtout réactive (déphasage très grand). Au démarrage le moteur se comporte comme un transformateur. A mesure que le moteur tourne plus vite, $n - n'$ diminue, I rotor décroît, entraînant une diminution de I stator.

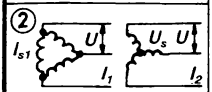
• **Couple** M. Variation avec la vitesse : (caractéristique 7).
M_n : couple en marche normale, en charge. M_d : couple au démarrage. M_m : couple maximum. Si la charge devient trop grande, le moteur s'arrête : il cale.

⑧ $\eta = \frac{P_m}{P}$

⑨ 

• **Rendement** η (formule 8 et caractéristique 9). Pertes totales $P - P_m$ = pertes constantes (mécaniques, frottement, magnétiques, hystérésis et courants de Foucault) + pertes croissant avec la charge (pertes par effet Joule dans les enroulements).



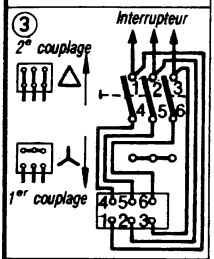


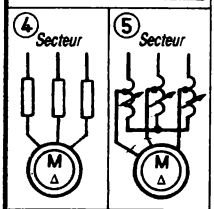
$$I_1 = I_{s1}\sqrt{3} = \frac{U}{Z}\sqrt{3}$$

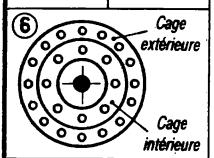
$$I_2 = \frac{U_s}{Z} = \frac{U}{Z\sqrt{3}}$$

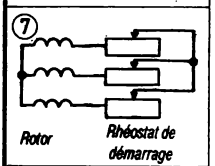
$$d'où\ \frac{I_1}{I_2} = \frac{U\sqrt{3}Z\sqrt{3}}{ZU} = 3$$

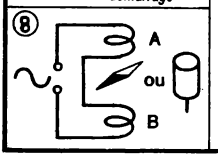
$$et\ I_2 = \frac{I_1}{3}$$











• **Facteur de puissance.** Variation du *cos φ* avec la charge (ou P_m) : (caractéristique 1).

— Démarrage des moteurs à cage. L'intensité absorbée par un moteur au démarrage, I_d, est un inconvénient (chutes de tension, surintensités en ligne). Les secteurs interdisent le démarrage direct des moteurs à cage de plus de 4 000 W. La diminution de I_d se fait en réduisant la tension appliquée au moteur au moment de sa mise en route.

• **Démarrage** λΔ. Couplage du stator en λ pendant la période de démarrage pour obtenir aux bornes de chaque enroulement une tension réduite ($U/\sqrt{3}$). L'intensité est trois fois plus petite qu'en Δ (formule 2). Lorsque le moteur est sur le point d'atteindre sa vitesse de régime, on effectue le couplage Δ. Ce procédé n'est applicable qu'avec un moteur dont la tension aux bornes de chaque enroulement correspond à celle du secteur.

Exemple :

Moteur	127/220 V	220/380 V	220/380 V
	127 Δ	220 Δ	220 Δ
Secteur	220 V	220 V	380 V
Couplage	impossible	possible	impossible

Fig. 3 : démarreur λ Δ à commande manuelle ou automatique.

• **Démarrage avec résistance en série dans le circuit, du stator** (fig. 4).

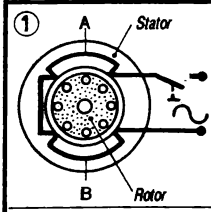
• **Démarrage avec un autotransformateur** (fig. 5), cas des moteurs très puissants.

— **Moteurs à double cage** (fig. 6). Le rotor possède deux cages concentriques : la cage extérieure, plus résistante et d'une inductance plus petite qu'une cage ordinaire, sert de cage de démarrage ; la cage intérieure, peu résistante et d'inductance importante, sert de cage de travail.
Ces moteurs conviennent pour les démarrages en charge car leur couple de démarrage est plus élevé que les moteurs à simple cage et l'intensité moindre à la mise en route.

— **Démarrage des moteurs à rotor bobiné** (à bagues).
Insertion de résistances dans le rotor au moment du démarrage, puis court-circuitage progressif de celles-ci.
Emploi d'un rhéostat à commande manuelle ou automatique (par force centrifuge ou par contacteurs), (fig. 7).

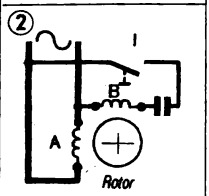
Moteurs monophasés.

— **Principe de fonctionnement** (fig. 8). Bobines A et B parcourues par un courant alternatif monophasé. Aiguille aimantée ou petit rotor en aluminium placé entre les bobines.
Les bobines créent un champ alternatif (ou deux champs tournants) qui entretient la rotation de l'aiguille ou du rotor lorsqu'on les lance au préalable (dans un sens ou dans l'autre).



— **Réalisation industrielle.**

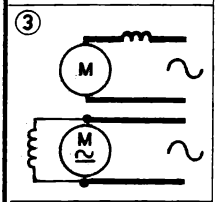
• **Moteur à lancement :** stator (un seul enroulement généralement à quatre pôles) ; rotor à cage d'écureuil. Lancement à la main, puis marche normale en fermant l'interrupteur (fig. 1). A et B : bobines de l'enroulement.



• **Moteur auto-démarreur.** Le démarrage s'effectue en créant une deuxième phase auxiliaire (condensateur branché en série dans un enroulement auxiliaire au moment de la mise en route), (fig. 2).

A. Enroulement principal, ou de travail. B. Enroulement auxiliaire, ou de démarrage. I. Interrupteur fermé au démarrage et s'ouvrant automatiquement par l'action de la force centrifuge.

• **Sens de rotation.** L'inversion se fait en intervertissant les connexions, soit de l'enroulement principal, soit de l'enroulement auxiliaire.

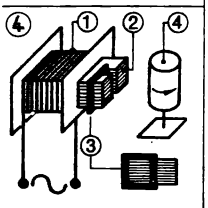


Utilisation. Petits ventilateurs, machines à laver, petit matériel agricole (puissance inférieure à 2000 W).

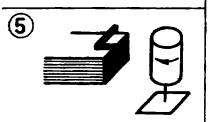
Moteurs universels à collecteur.

Fonctionnent indifféremment avec du courant monophasé ou du courant continu.

Alimentés en courant alternatif, les moteurs sont excités soit en série, soit en dérivation (fig. 3). La vitesse ne dépendant pas de la fréquence, peut atteindre plus de 6000 tr/min. Le démarrage est direct. Ils sont de faible puissance (quelques watts) en raison des étincelles au collecteur).



Emploi. Moteurs de machines portatives (perceuses, outils tournants), appareils ménagers (ventilateurs, aspirateurs, cireuses, rasoirs électriques, machines à coudre, etc.).



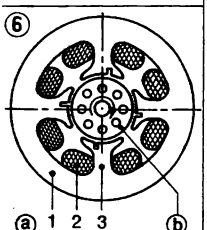
Moteur monophasé à cage, à bagues court-circuitées.

— **Principe de fonctionnement.**

Fig. 4 : *(1)* Bobine parcourue par un courant alternatif monophasé ; *(2)* Noyau feuilleté fendu à une extrémité ; *(3)* Bague fermée sur elle-même, en court-circuit (spire de Frager) ; *(4)* Tambour d'aluminium tournant dans un sens.

En plaçant la bague sur l'autre moitié du noyau (fig. 5), le sens de rotation est changé.

La spire en court-circuit déphase le flux qui la traverse, en arrière du flux produit par la bobine. La dissymétrie du flux dans le tambour provoque un couple moteur dans celui-ci.

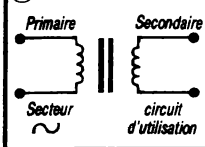


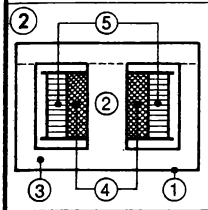
ⓐ Stator tétrapolaire
1. *Carcasse.*
2. *Bobine.*
3. *Pôle.*
ⓑ Rotor

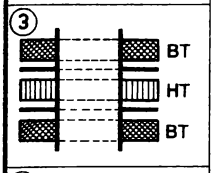
— **Vitesse** *n* : croît avec l'intensité du courant qui circule dans la bobine (rhéostat en série dans la bobine).

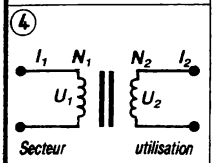
— **Réalisation pratique** (fig. 6). Exemple d'un moteur monophasé à cage, tétrapolaire, à pôles fendus pour les bagues court-circuitées.

Emploi : faible couple au démarrage. Petites puissances. Ventilateur à courant alternatif, entraînement des disques de phonographes.

① 

② 

③ 

④ 

⑤ $k = \frac{N_2}{N_1}$

⑥ $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = k$

$\frac{U_2}{N_2} = \frac{U_1}{N_1}$

⑦ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

⑧ $U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$

1.3. Transformateurs.

Rôle. Machines statiques permettant d'élever ou d'abaisser la tension ou l'intensité d'un courant alternatif.

Principe de fonctionnement (fig. 1). Un enroulement inducteur *« Primaire »* est alimenté en courant alternatif ; il se comporte comme un récepteur. Il crée un champ d'induction variable dans lequel se trouve placé un enroulement *« secondaire »*. Les variations de flux créent une f. e. m. induite. Le secondaire se comporte comme un générateur alimentant directement le circuit d'utilisation.

Constitution générale. Cas des transformateurs monophasés.

Fig. 2 : *(1)* Circuit magnétique feuilleté (tôles isolées les unes des autres), permettant d'obtenir une grande induction magnétique à l'aide d'un champ magnétique relativement faible ; *(2)* Noyau ; *(3)* Traverse ou culasse. Avec un circuit à deux noyaux, les fuites magnétiques sont importantes (le flux qui traverse l'enroulement secondaire est plus faible que celui qui traverse le primaire) ; *(4) (5)* Enroulements primaire et secondaire isolés l'un de l'autre et de la masse ; ils ont généralement des nombres de spires différents.

L'enroulement BT *(4)*, plus facile à isoler, est près du noyau ; l'enroulement HT *(5)* est à l'extérieur.

La figure 2 représente des enroulements concentriques simples et la figure 3 des enroulements en galettes alternées.

La liaison des bobinages avec le circuit extérieur se fait à l'aide de bornes.

Relation entre grandeurs caractéristiques (fig. 4).

1.3.1. **Cas d'un transformateur parfait,** sans fuites ni pertes.

— **Rapport de transformation :** (formule 5).

— **Relation entre les tensions primaire et secondaire : (formule 6).**

La tension par spire est la même au primaire et au secondaire.

Si N_2 est supérieur à N_1, donc si $k > 1$, le transformateur est *élévateur de tension.*

Exemple : $N_1 = 1\,000$ $\qquad N_2 = 20\,000$ $\qquad \frac{N_2}{N_1} = 20.$

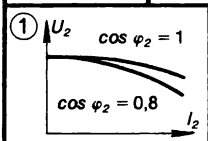
Si $U_1 = 5\,000$ V, $U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1} = 5\,000 \times 20 = 100\,000$ V.

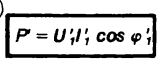
Si N_2 est inférieur à N_1, donc si $k < 1$, le transformateur est *abaisseur de tension.*

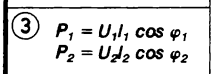
— **Relation entre les intensités :** (formule 7).

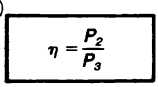
La formule peut s'écrire : $N_1 I_1 = N_2 I_2$; elle montre l'égalité entre les ampèretours primaires et les ampèretours secondaires.

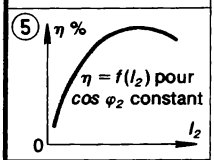
— **Relation entre les puissances.** Les puissances actives (réactives ou apparentes) débitées par le secondaire et celles absorbées par le primaire sont égales (formule 8).

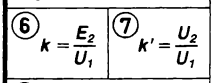


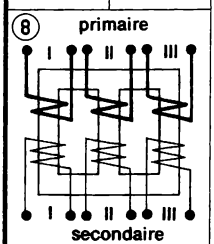


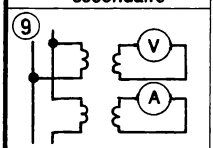


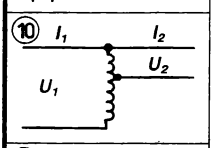


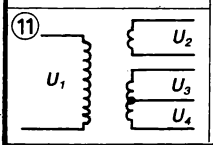












1.3.2. **Cas d'un transformateur réel** (fuites magnétiques et pertes par effet Joule non négligeables).

— **Chute de tension.** Les fuites magnétiques sont inévitables et les enroulements sont résistants ; il en résulte une chute de tension (inductive et ohmique).
Elle correspond à la différence entre la tension secondaire à vide E_2 et celle en charge U_2. On l'exprime en pourcentage de la tension à vide $\frac{E_2 - U_2}{E_2}$.

Exemple : $E_2 = 10\,000$ V $\quad U_2 = 9\,800$ V $\quad E_2 - U_2 = 200$ V

$$\frac{E_2 - U_2}{E_2} = \frac{200}{10\,000} = 0{,}02 = 2\,\%.$$

— **Caractéristique en charge** (fig. 1).
$U_2 = f(I_2)$ pour U_1 et $\cos\varphi$ constants.
Elle permet de déterminer la chute de tension.

— **Puissance absorbée à vide.** Très faible : 1,5 à 2 % de la puissance normale (formule 2).

— **Puissance absorbée en charge** (formules 3).

— **Rendement :** (formule 4).
Courbe de rendement (fig. 5). La différence $P_1 - P_2$ provient des pertes par effet Joule dans les enroulements et des pertes par hystérésis et courants de Foucault dans le circuit magnétique.

— **Rapport de transformation à vide** k (formule 6).

— **Rapport de transformation en charge** k' (formule 7).

— **Couplage en parallèle des transformateurs.**
Conditions : la polarité des bornes du secondaire doit être la même au même instant ; la tension secondaire doit avoir la même valeur à chaque instant.

Différentes sortes de transformateurs.

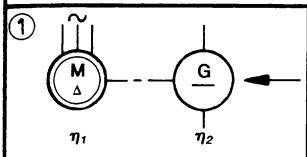
— **d'après le nombre de phases :** monophasé, polyphasé (diphasé, triphasé, etc.).
Exemple : transformateur triphasé (fig. 8).

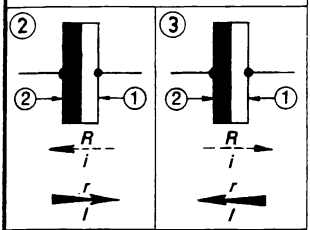
— **d'après leur usage :** pour transport d'énergie électrique (transformateur de puissance), pour appareils de signalisation et divers, pour les mesures : transformateur de tension, d'intensité (fig. 9).

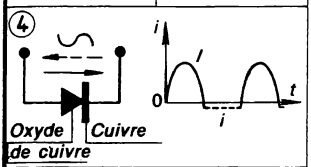
— **d'après leur genre d'enroulement :** ordinaire, enroulements séparés, autotransformateur (démarrage des moteurs asynchrones) (fig. 10), transformateur à secondaires multiples : application à l'électronique (radio, télévision, etc.), (fig. 11).

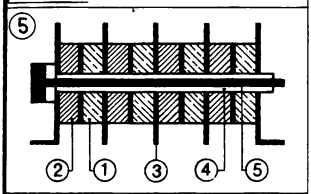
Refroidissement des transformateurs. Les pertes par effet Joule des gros transformateurs sont élevées. Pour éviter une élévation dangereuse de température, il est nécessaire de les refroidir.

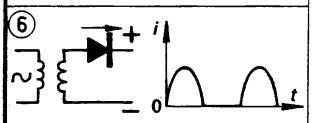
Modes de refroidissement. Selon la puissance des transformateurs et la valeur de leur tension : air ambiant, cuve pleine d'huile, serpentin parcouru par un courant d'eau froide, pompe faisant circuler l'huile dans un réfrigérateur.

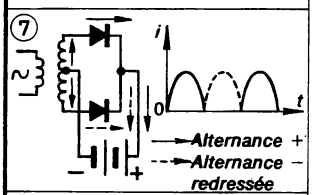


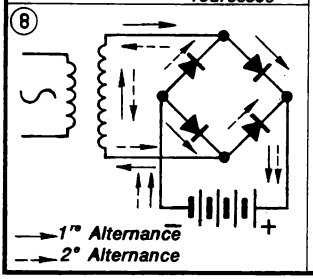












1.4. **Transformation des courants alternatifs en courant continu.**

Groupes convertisseurs « moteur-générateur » (fig. 1).

Moteur à courant alternatif, généralement asynchrome triphasé, accouplé à une dynamo à excitation en dérivation ou composée.
Rendement global assez faible : $\eta = \eta_1 \times \eta_2$.

Redresseurs : appareils qui ne se laissent traverser que par des courants de sens déterminé et qui s'opposent au passage des courants de sens inverse des précédents.

Redresseurs secs ou à contacts solides.

Le contact d'un conducteur et d'un semi-conducteur (métal dont la résistivité est de l'ordre de $10^6\ \Omega\ mm^2/m$) forme un ensemble dont la résistance électrique dépend du sens du courant qui le traverse. Cette résistance peut être très faible dans un sens, et faciliter ainsi le passage du courant électronique, et très grande dans l'autre sens, donc s'opposer au passage du courant.

Fig. 2 : Rondelle de cuivre *(1)* recouverte d'oxyde de cuivre *(semi-conducteur) (2)* sur une face. Grande résistance au passage du courant dans le sens cuivre-oxyde de cuivre.

Fig. 3 : Disque de fer nickelé *(1)* recouvert de sélénium *(2)*. Grande résistance au passage du courant dans le sens sélénium-fer.

Fig. 4 : Soumises à une tension alternative, ces rondelles laissent passer une alternance de courant *(1)* et s'opposent au passage de l'autre alternance *(2)*. Emploi en redresseur de courant.
Les rondelles ne peuvent supporter les tensions et densités de courant supérieures à : 6 V-0,1 A/cm² pour cuivre-oxyde de cuivre et 20 V-0,3 A/cm² pour fer-sélénium. Pour des tensions supérieures, on monte en série plusieurs éléments ; pour des intensités plus grandes, on augmente la surface de contact et on groupe plusieurs éléments en parallèle. Le groupement série-parallèle permet d'obtenir des puissances de quelques W à une centaine de kW, sous des tensions de quelques V à des milliers de V.

• **Constitution d'un élément de redresseur.**

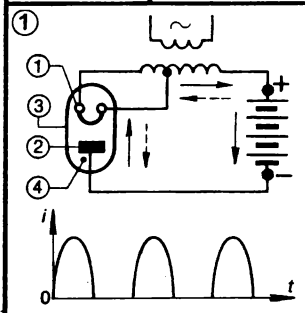
Fig. 5 : *(1)* Rondelle de cuivre, oxydée sur une face ; *(2)* Plomb permettant d'obtenir un bon contact ; *(3)* Ailette en feuille de tôle, augmentant la surface de refroidissement ; *(4)* Manchon isolant ; *(5)* Axe : tige filetée, écrous et rondelles serrant fortement les éléments.

• **Montages.** Redressement d'une alternance (fig. 6).

Redressement de deux alternances : à l'aide d'un transformateur à prise médiane et de deux redresseurs (fig. 7) ; à l'aide d'un montage en pont de Wheatstone (fig. 8).

• **Usages.** Charge des accumulateurs, galvanoplastie, centraux téléphoniques, postes de soudage à l'arc, appareils de mesure.

E. 35 VI - MACHINES ÉLECTRIQUES

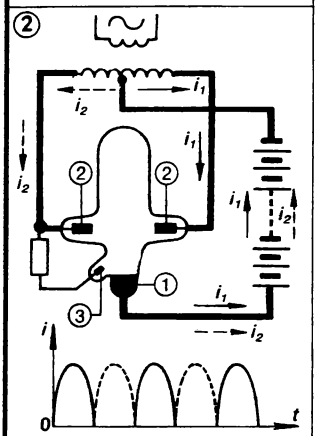


Redresseurs Tungar (tungstène-argon) à filament incandescent.

Fig. 1 : *(1)* Cathode : filament de tungstène chauffé au rouge ; *(2)* Anode : plaque de graphite ; *(3)* Ampoule ; *(4)* Vide (traces d'argon).

--→ alternance non redressée (courant passe).

—→ alternance redressée (courant ne passe pas). Le courant ne passe pas dans le sens anode-cathode.



Redresseurs à vapeur de mercure (fig. 2).

Fonctionnement basé sur l'effet de valve de l'arc jaillissant dans le vide entre deux électrodes dont l'une est au mercure.

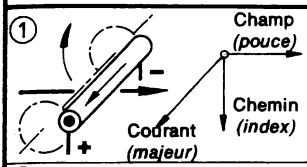
(1) Cathode (mercure) ; *(2)* Anodes principales ; *(3)* Anode auxiliaire d'amorçage.

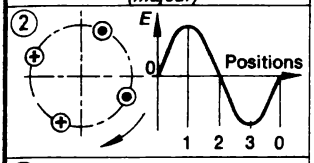
Les trois phases d'un courant triphasé peuvent être redressées à l'aide d'une ampoule à six anodes.

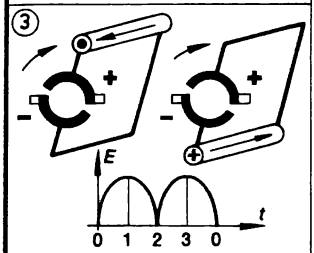
Usages. Charge des batteries d'accumulateurs de forte puissance, électrochimie, traction électrique. Puissance : 500 kW et plus. Tension redressée : 500 V. Intensité de l'ordre de 800 A.

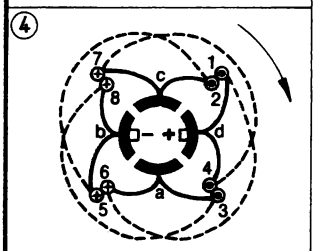
Les redresseurs à enveloppe métallique permettent des puissances de l'ordre de 3 000 kW et des tensions redressées d'environ 5 000 V.

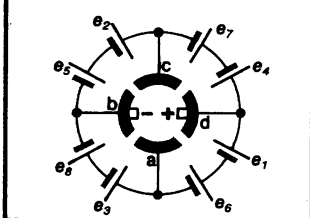
Problèmes.	*Solutions.*
I. Un moteur asynchrone triphasé tétrapolaire alimenté sous 220 V absorbe 15 A. Son facteur de puissance est de 0,82, son rendement 0,79 et sa vitesse de rotation 1 450 tr/min. Fréquence du secteur : 50 Hz. Calculer : *a)* la puissance absorbée ; *b)* la puissance utile sur l'arbre en W ; *c)* le couple utile ; *d)* le glissement.	*a)* $P = UI\sqrt{3}\cos\varphi$ $= 220 \times 15 \times \sqrt{3} \times 0{,}82$ $= \mathbf{4\,674}$ **W** *b)* $P_m = P_\eta = 4\,674 \times 0{,}79 = \mathbf{3\,692}$ W. *c)* De $P_m = 2\pi n M$, on tire : $M = \dfrac{P_m}{2\pi n}$ $M = \dfrac{3\,692 \times 60}{2\pi \times 1\,450} = \mathbf{24{,}32}$ N · m. *d)* $g = \dfrac{n - n'}{n} \times 100$ avec $n = \dfrac{60\,f}{p} = \dfrac{60 \times 50}{2}$ $= 1\,500$ tr/min d'où $g = \dfrac{1\,500 - 1\,450}{1\,500} \times 100 \approx \mathbf{3{,}33}\,\%$.
II. Un voltmètre de calibre 100 V, 100 divisions, est branché aux bornes du secondaire d'un transformateur de potentiel 5 500/100 V. Calculer la valeur de la tension lorsque l'aiguille se fixe sur la division 75.	U = valeur de la tension lue sur le voltmètre x rapport de transformation. Valeur lue : 1 div. vaut $\dfrac{100}{100} = 1$ V 75 div. valent $75 \times 1 = 75$ V. C'est la tension au secondaire du transformateur. $k = \dfrac{5\,500}{100} = 55$ d'où $U = 75 \times 55 =$ **4 125** V.

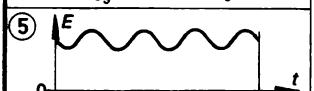


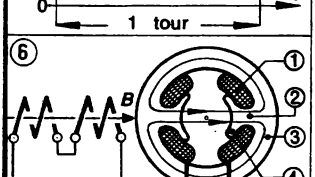












2. MACHINES A COURANT CONTINU

2.1. **Générateurs ou dynamos.**

Machines transformant l'énergie mécanique fournie par un moteur en énergie électrique sous forme de courant continu.

Principe de fonctionnement.

— Production d'une f. e. m. induite dans les fils conducteurs : application de la loi de Lenz, de la règle des trois doigts de la main gauche ou du flux coupé (fig. 1).
Fig. 2 : variation de la f. e. m. pour un tour du conducteur. La f. e. m. inverse sa polarité au passage d'une ligne appelée : *ligne neutre* (f. e. m. induite, alternative).

— Création d'une f. e. m. de polarité constante : (fig. 3). Emploi d'un commutateur ($^1/_2$ coquille ou collecteur) permettant à chacun des deux balais fixes de capter toujours la même polarité (un balai +, un balai −).

— Association de plusieurs conducteurs : (fig. 4). La f. e. m. E est égale à la somme algébrique des f. e. m.
$e_1 + e_6 + e_3 + e_8 = e_5 + e_2 + e_7 + e_4$
Forme de la f. e. m. : (fig. 5).
En augmentant le nombre de conducteurs on accroît la f. e. m. et on diminue la profondeur des oscillations.

Constitution générale.

Fig. 6 : système producteur d'un flux magnétique : *inducteur.*

(1) Bobines inductrices montées en série et alimentées en courant continu ; *(2)* Noyau ; *(3)* Culasse ; *(4)* Épanouissement polaire ; *(2) + (3) + (4)* permettent une distribution du flux avec le minimum de dispersion.

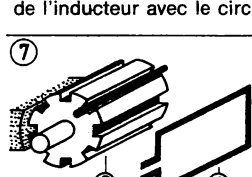
Fig. 7 : conducteurs engendrant, par rotation, une f. e. m. : *induit.*

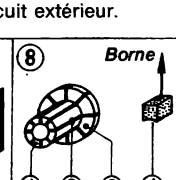
(1) Enroulement *(bobinage)* ; *(2)* Carcasse ou armature avec encoche pour loger le bobinage : canalise le flux.

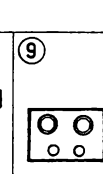
Fig. 8 : organes redresseurs : *collecteur et balais.*

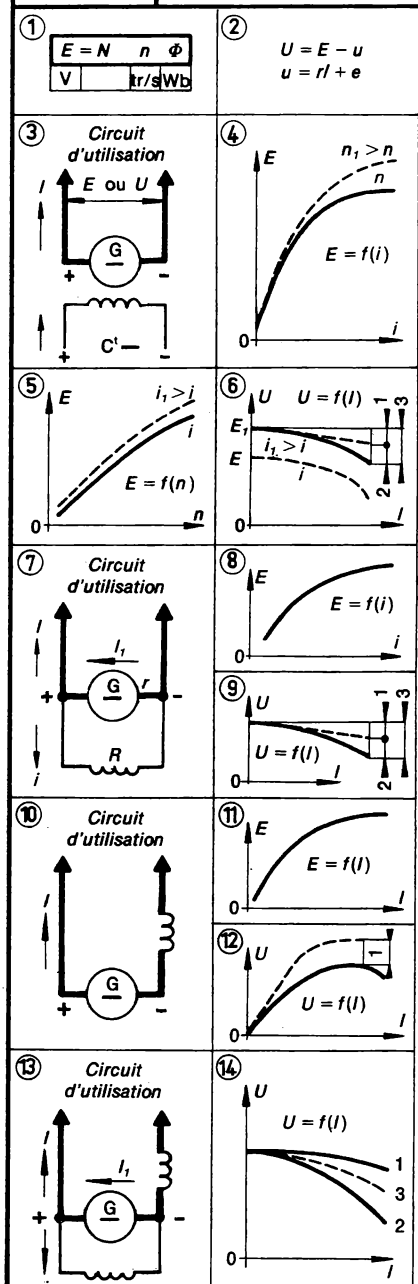
(1) Lames en cuivre ; *(2)* Mica isolant les lames ; *(3)* Ailettes de raccordement entre lames du collecteur et conducteurs ; *(4)* Balais : charbons graphitiques ou métalliques assurant la liaison électrique entre l'organe tournant *(collecteur)* et des organes fixes *(bornes).*

Fig. 9 : Plaque à bornes : assure la liaison de l'induit et de l'inducteur avec le circuit extérieur.









Tension aux bornes de l'induit.

— Valeur de la f. e. m. (formule 1).
E : f. e. m. recueillie aux bornes des balais.
N : nombre de conducteurs actifs.
n : nombre de tours par seconde.
Φ : flux utile par pôle.

— Valeur de la d. d. p., ou tension en charge : (formule 2).
rI : chute ohmique ; (*r* : résistance de l'induit).
e : chute de tension due à la réaction magnétique de l'induit.

Différents modes d'excitation, caractéristiques.

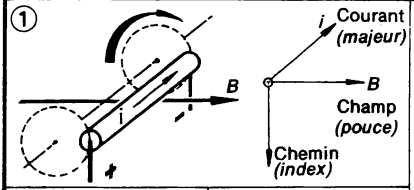
— **Excitation indépendante ou séparée** (fig. 3).
E dépend de *Φ* et de *n*. Or *Φ* est fonction de l'intensité du courant *i* (inducteur). Caractéristiques :
E = f(*i*) pour *n* = constant : (fig. 4).
E = f(*n*) pour *i* = constant : (fig. 5).
U = f(*I*) pour *i* et *n* = constants : (fig. 6).
Chutes de tension :
(1) due à *rI*, *(2)* due à réaction magnétique de l'induit ; *(3)* totale.

— **Excitation en dérivation ou « shunt »** (auto-excitatrice) (fig. 7).
E = f(*i*) pour *n* = constant (fig. 8).
U = f(*I*) pour résistance du circuit d'excitation constante (fig. 9).
L'aimantation permanente permet l'amorçage ; il faut que la génératrice tourne dans le sens favorable au renforcement du flux. Au-delà d'une valeur de *I*, la génératrice se désamorce.

— **Excitation en série** (fig. 10).
E = f(*I*) pour *n* = constant (fig. 11).
U = f(*I*) pour *n* = constant, en excitation séparée (fig. 12).
(1) Chute de tension totale.
Pour que la machine s'amorce, il faut que le flux produit par l'enroulement série renforce son aimantation rémanente. La machine doit être chargée et doit tourner dans le bon sens.

— **Excitation composée ou** *« compound »* (fig. 13).
Fig. 14. *U* = f(*I*) pour *n* = constant.
Courbe 1 : flux additif.
Courbe 2 : flux soustractif.
Courbe 3 : génératrice shunt.

Remarques. Au-delà de 5 kW, afin de mieux utiliser la matière et de diminuer les dimensions d'encombrement, on construit des dynamos multipolaires. Pour maintenir la tension constante, on agit sur le circuit inducteur.

① 

② $E' = N \quad n \quad \Phi$

V		tr/s	Wb

③ $U' = E' + rI$

④ $I = \dfrac{U' - E'}{r}$

⑤ $I_d = \dfrac{U'}{R + r}$

⑥ $n = \dfrac{E'}{N\Phi} = \dfrac{U' - rI}{N\Phi}$

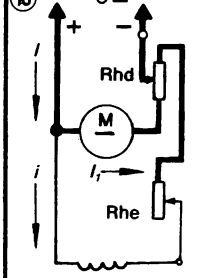
⑦ $n = \dfrac{U'}{N\Phi} - \dfrac{rI}{N\Phi}$

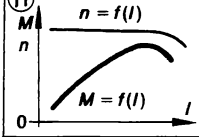
⑧ $P_m = 2\pi n M = E' I$

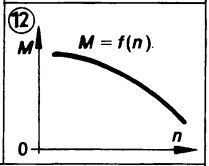
⑨ $P_m = 2\pi n M = N n \Phi I$

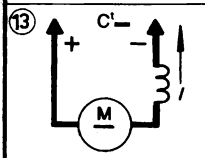
d'où :

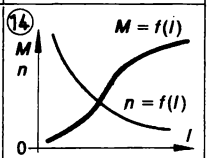
$M = \dfrac{N\Phi}{2\pi} I = \dfrac{N}{2\pi} \Phi I =$	$k\Phi I$
N.m | Wb | A	

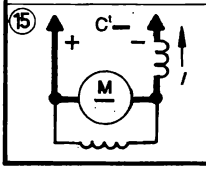
⑩ 

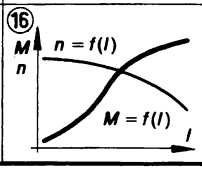
⑪ 

⑫ 

⑬ 

⑭ 

⑮ 

⑯ 

2.2. **Moteurs.**

Machines transformant l'énergie électrique (courant continu) en énergie mécanique.

Principe du fonctionnement. Production d'une force électromagnétique tendant à déplacer un conducteur. Règle des trois doigts de la main droite (fig. 1).

Constitution. Identique à celle de la génératrice (machine réversible).

Valeurs caractéristiques.
— F. c. e. m. E' (formule 2).
— Tension aux bornes de l'induit U' (formule 3).
— Intensité du courant absorbé en marche normale (formule 4).
Au démarrage, il est nécessaire d'introduire une résistance R supplémentaire (rhéostat de démarrage) en série pour limiter I_d jusqu'au moment où la f. c. e. m. a pris sa valeur normale (vitesse normale).
Valeur de I_d (formule 5).
— Vitesse n (formules 6 et 7).
— Couple moteur (sur l'arbre) M.

• **Puissance électrique transformée en puissance mécanique** P_m (formule 8).

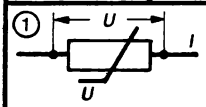
• **Couple** (formule 9).
— Changement du sens de rotation : inversion du sens du courant, soit dans l'induit seulement, soit dans l'inducteur seulement.

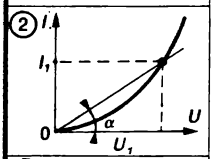
Différents types de moteurs.

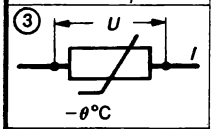
— Moteur à excitation en dérivation (shunt), (fig. 10).
Rh_d : rhéostat de démarrage.
Rh_e : rhéostat d'excitation.
Caract. : $M = F(I)$ et $n = f(I)$ pour i = constant (fig. 11), $M = f(n)$ (fig. 12).
Emplois. Marche à vitesse peu variable (machines-outils, métiers à tisser, ascenseurs, appareils de levage, etc.).

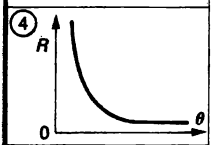
— Moteur à excitation en série (fig. 13).
Caract. M et $n = f(I)$ (fig. 14).
Couple puissant au démarrage, variation de vitesse considérable même pour faible variation de charge, emballement à vide, arrêt en cas de surcharge.
Emplois. Traction, commande des engins de levage et manutention (grues, palans) laminoirs, ventilateurs.

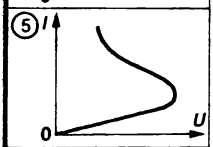
— Moteur à excitation composée (compound) (fig. 15).
Caract. M et $n = f(I)$, (fig. 16).
Couple moteur énergique au démarrage, pas d'emballement à vide.
Emplois. Machines à couple résistant très important et très variable (cisaille, broyeur, laminoirs, cabestans, etc.).

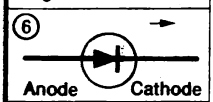


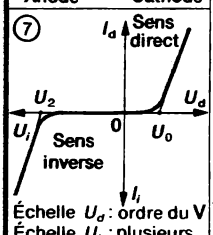


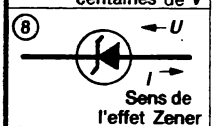


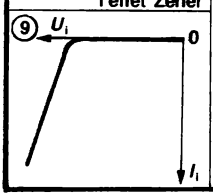












Semi-conducteurs

Corps non métalliques dont la résistivité varie en sens inverse de la température. Le coefficient de température est négatif; il est en valeur absolue, jusqu'à 10 fois celui des métaux.

Selon leur nature, la température, les impuretés, la résistivité peut s'échelonner entre 10^{-5} et 10^{7} Ωm.

Selon certains dispositifs, ils ne laissent passer le courant que dans un sens.

La conductibilité des semi conducteurs se distingue de celle des métaux par l'influence de la température, des impuretés et de la lumière.

Grâce à des progrès technologiques on utilise les semi-conducteurs en courant faible et en courant fort. Ils ont remplacé les tubes à vide ou à gaz dans presque toutes les applications et ont permis la miniaturisation des circuits.

— Type N *(émetteur)* : la conduction a lieu grâce à des porteurs négatifs (électrons libres).

— Type P *(collecteur)* : la conduction s'effectue par des porteurs positifs (abscence de négatifs).

— Jonction PN : partie intermédiaire due à la jonction de deux cristaux selon des procédés particuliers.

Résistances non linéaires

Résistances dont la valeur diminue quand la tension appliquée augmente.

Elles sont formées de grains de carbure de silicium agglomérés par un liant céramique et se présentent sous forme de pastilles, disques, rondins, anneaux, etc.

Elles permettent la régulation de tension, la protection des appareils contre la surtension (relais, contacts, etc.).

Fig. 1 : représentation symbolique.

Fig. 2 : caractéristique $I = f(U)$. Pour U_1 : $R = \frac{U_1}{I_1}$

Si U_1 augmente, α augmente, R diminue.

Thermistances.

Semi-conducteurs formés d'oxydes métalliques frittés (oxydes de fer, de nickel, de manganèse, etc.).

La résistance décroit rapidement lorsque la température augmente.

Le coefficient de température est négatif, d'où l'appellation C. N. T.; il est compris entre −0,03 et −0,05.

On les utilise pour la mesure et la régulation des températures, la régulation de tension. Elles constituent des auxiliaires précieux, en particulier dans les circuits électroniques.

Fig. 3 : représentation symbolique.

Fig. 4 : caractéristique $R = f(\theta)$.

Fig. 5 : caractéristique $I = f(U)$.

Diodes à cristaux

Diodes à jonction : fonction P. N. dans un cristal de semi-conducteur *(silicium)* comportant un radiateur destiné à évacuer la chaleur qui apparaît au niveau de la fonction.

Fig. 6 : représentation symbolique.

Fig. 7 : caractéristique $I = f(U)$.

Sens direct (anode vers cathode). Lorsque $U_d < U_0$, I est négligeable; lorsque $U_d > U_0$, I croit très vite pour un accroissement très faible de U.

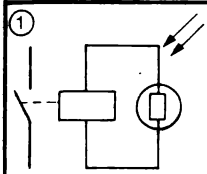
Sens inverse. Lorsque $U_i < U_2$, I est nul. Lorsque $U_i > U_2$, I croit très vite.

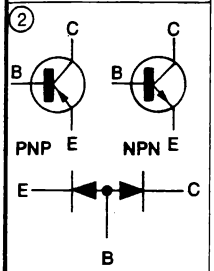
Une diode se présente comme un bipole laissant passer le courant dans le sens direct et le bloquant dans le sens inverse; elle est utilisée pour le redressement des courants alternatifs.

— **Diodes Zener :** diode à jonction qui fonctionne normalement au-delà d'une tension forte appliquée dans le sens inverse; en se débloquant elle provoque une brusque augmentation de courant.

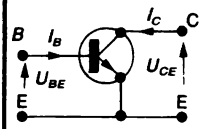
Fig. 8 : représentation symbolique.

Fig. 9 : caractéristique inverse : $I_i = f(U_i)$.

① 

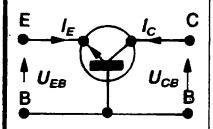
② 

③ Emetteur commun



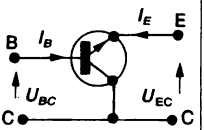
$R_e \approx 1k\Omega$;
$R_s \approx 10$ à 30 kΩ ;
A_U : élevée A_I : élevée
(10 à plus de 100)
G_P : élevé

④ Base commune



$R_e \approx 100\Omega$ $R_s \approx 1M\Omega$
A_U : élevée $A_I \approx 0$
G_P : moyen

⑤ Collecteur commun



$R_e \approx 200k\Omega$ $R_s \approx 200\Omega$
$A_U \approx 0$ A_I : élevée
G_P : faible

Cellules photoélectriques.

La photoélectricité est l'émission d'électrons provoquée par l'action de la lumière ou d'autres radiations électromagnétiques de faible longueur d'onde. Les semi-conducteurs sont remarquables pour certains effets photoélectriques.

— **Photoconduction :** effet se manifestant par une diminution de la résistivité d'un corps irradié. Un semi-conducteur devient plus conducteur quand on l'éclaire. On utilise des cellules photoconductrices ou photorésistances qui détectent et mesurent les radiations visibles et les radiations infrarouges : photomètres, luxmètres, comptage, commandes automatiques (escaliers roulants, portes, etc.).
Fig. 1 : alimentation d'un relais électromagnétique par une cellule.
Des photodiodes utilisent les propriétés d'une fonction PN à laquelle une source extérieure applique une tension inverse. Elles sont utilisées dans le contrôle industriel.

— **Effet photovoltaïque :** effet photoélectrique qui se manifeste par l'apparition d'une f.e.m. au contact entre un métal et un semi-conducteur (ou entre deux semi-conducteurs de types opposés). Les cellules photovoltaïques (ou photopiles) ne nécessitent pas de source de tension : appareils portatifs (luxmètres, posemètres...).

Transistors.

Ils sont constitués d'un petit monocristal de semi-conducteur (germanium, silicium) dans lequel sont réalisées deux fonctions très voisines.

Un transistor bipolaire se compose essentiellement de deux fonctions PN, montées en série, en sens inverse, à l'intérieur d'un même cristal de semi-conducteur. Il comporte trois régions : émetteur, base, collecteur. L'émetteur et le collecteur forment deux régions de même type de conductibilité séparées par une très mince région de type opposé, la base. Suivant la succession des éléments, on trouve les transistors PNP et NPN (fig. 2).

On peut considérer qu'un transistor est composé de deux diodes à jonction très voisines et en opposition.

Pratiquement il se présente comme un dispositif à trois bornes monté en quadripoles ; l'une des bornes est commune à l'entrée et à la sortie. Selon la nature de celle-ci *(émetteur, base ou collecteur)*, on distingue trois sortes de montage (fig. 3, 4 et 5). R_e et R_s : résistances d'entrée et de sortie. A_U et A_I : amplification en tension et en courant. G_P : gain en puissance. Le montage à émetteur commun est le plus utilisé dans les applications.

Les transistors ont remplacé les tubes à vide. Ils ont un plus faible encombrement (pouvant aller jusqu'à la miniaturisation), un fonctionnement stable, une robustesse et une durée plus grandes, et ils consomment moins.

Ils sont utilisés comme amplificateur de puissance, de tension, de courant ; pour produire des oscillations et des impulsions *(multivibrateurs)* ; pour la commutation *(relais pour contrôle industriel, circuits logiques, ...)*.

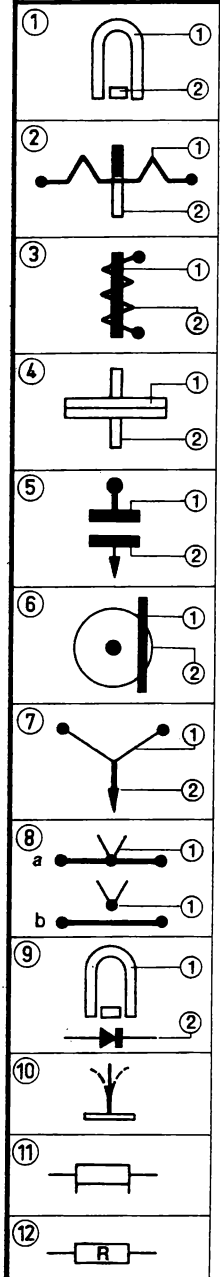
MANIPULATIONS

I. - APPAREILS DE MESURE ET DE COMPTAGE
II. - MÉTHODE GÉNÉRALE ET ERREURS DE MESURE
III. - MESURES ÉLECTRIQUES
IV. - ESSAIS DE MACHINES À COURANT CONTINU
V. - ESSAIS DE MACHINES À COURANT ALTERNATIF

E. 41

I - APPAREILS (1)

Mesure et comptage



1. DÉSIGNATION DES APPAREILS

Appareil de mesure électrique. Mesure une grandeur électrique : ampèremètre, voltmètre, wattmètre, etc.

Appareil électrique de mesure. Mesure une grandeur non électrique : pyromètre, etc.

Appareil de mesure indicateur. Indique à tout moment, sur une échelle, la valeur de la grandeur mesurée : ampèremètre thermique, fréquencemètre indicateur.

Appareil de mesure enregistreur. Inscrit les valeurs instantanées, efficaces ou moyennes que prend la grandeur mesurée : wattmètre enregistreur.

2. CLASSIFICATION DES PRINCIPAUX APPAREILS suivant les phénomènes intervenant en fonctionnement.

Magnéto électrique (à cadre mobile et aimant fixe, fig. 1). *(1)* Aimant fixe agissant sur un cadre mobile *(2)* parcouru par un courant. Principe : action du champ magnétique d'un aimant fixe sur un circuit mobile.

A aimant mobile (fig. 2). Une ou plusieurs bobines fixes *(1)* parcourues par des courants agissent sur un aimant *(2)* ou sur un système d'aimants mobiles.

Ferromagnétique (ou à fer mobile) (fig. 3). Pièce de fer mobile *(1)*, soumise à l'action d'une bobine fixe *(3)* parcourue par un courant, ou à celle d'une pièce de fer fixe aimantée par le courant.

Électrodynamique (fig. 4). Appareil utilisant les actions électrodynamiques s'exerçant entre bobines fixes *(1)* et mobiles *(2)* parcourues par des courants.

Électrostatique (fig. 5). Actions électrostatiques s'exerçant entre des pièces fixes *(1)* et des pièces mobiles *(2)* soumises à des différences de potentiel.

A induction (fig. 6). Action de circuits inducteurs fixes *(1)* sur les courants qu'ils induisent dans des pièces mobiles *(2)*.

Thermique (à fil chaud ou à dilatation) (fig. 7). Le courant électrique parcourt des fils *(1)* qui s'échauffent et qui produisent le déplacement de l'équipage mobile *(2)*, soit par leur dilatation, soit par dilatation de fils soumis à leur action thermique.

A thermocouple (fig. 8). Le courant produit l'échauffement d'un thermocouple *(1)* dont la f. e. m. est mesurée à l'aide d'un millivoltmètre magnéto-électrique. *(a)* Thermocouple non isolé ; *(b)* Thermocouple isolé.

A redresseur (fig. 9). Appareil magnéto-électrique *(1)* et redresseur *(2)* transformant un courant alternatif en courant unidirectionnel.

A lames vibrantes (fig. 10). Lames métalliques vibrant sous l'action d'un courant parcourant des bobines fixes combinées ou non avec un aimant.

On trouve également : des appareils électroniques de mesure présentant une grande sensibilité et permettant la mesure de valeurs très basses (50 pV et 50 pA). — des appareils de mesure à affichage numérique basés sur le principe d'une conversion tension-temps. Ils peuvent présenter plusieurs calibres et devenir, par tiroirs interchangeables, des polymesureurs.

3. ACCESSOIRES

Shunt (fig. 11) : résistance aux bornes de laquelle est branché un appareil de mesure.

---

(1) d'après norme C 42-100.

Cordon : paire de conducteurs prévus pour relier le shunt et l'appareil de mesure.

Résistance additionnelle (fig. 12, E. 41) : résistance destinée à être montée en série avec un voltmètre (ou le circuit de tension d'un appareil de mesure) pour modifier son calibre.

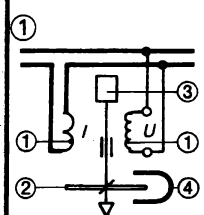
4. COMPTEUR D'INDUCTION

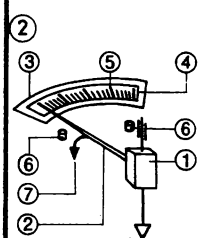
Mesure de l'énergie consommée par des appareils alimentés en courant alternatif : compteurs d'énergie active et d'énergie réactive.

Constitution d'un compteur d'énergie active (fig. 1). *(1)* Élément wattmétrique : bobines intensité et tension.
Produit un couple proportionnel à la puissance absorbée, appliqué au disque *(2)*; *(2)* Disque (aluminium ou cuivre) entraînant un compteur mécanique *(3)* (compte-tours gradué en Wh ou hWh); *(4)* Aimant produisant un couple résistant dû à son action sur *(2)*.

5. ÉLÉMENTS DE CONSTRUCTION (fig. 2).

(1) Équipage mobile. Partie mobile d'un appareil de mesure dont on observe les déviations : équipage apériodique (atteint sa position d'équilibre après quelques oscillations).
Pivot : partie extrême de l'axe d'un équipage mobile par laquelle celui-ci s'appuie sur des pièces en pierres fines ou autres matières dures.
(2) Aiguille : organe solidaire de *(1)* destiné à permettre l'observation des déviations.
(3) Cadran : surface généralement plane ou cylindrique par rapport à laquelle se meut l'aiguille.
(4) Échelle. Partie sur laquelle est tracé l'ensemble des traits qui permettent de repérer la position de l'équipage mobile (graduation *(5)*). Longueur de la graduation : longueur de l'arc (ou du segment de droite) passant au milieu des traits les plus courts de la graduation (limité par les traits extrêmes).
(6) Butée. Pièce limitant la course de l'aiguille.
(7) Organe créant un couple antagoniste qui tend à ramener *(1)* au zéro de l'appareil.





6. TERMES CARACTÉRISTIQUES

Division : intervalle séparant deux traits consécutifs d'une graduation.

Étendue de la lecture : partie de la graduation où les mesures peuvent se faire avec la précision requise.

Zéro mécanique : trait de la graduation devant lequel s'arrête l'aiguille lorsque l'équipage mobile prend sa position de régime, les organes électriques de l'appareil n'étant ni sous tension, ni parcourus par des courants.

Étalonnage : détermination de la relation existant entre les indications d'un appareil et les valeurs de la grandeur à mesurer.

Correction : quantité qu'il faut ajouter algébriquement au résultat de la mesure pour obtenir la valeur exacte de la grandeur à mesurer.

Calibre : valeur de la grandeur mesurée qui correspond à la limite supérieure de l'étendue de mesure.

Degré de précision : limite supérieure de l'erreur relative de mesure.

7. CLASSES DE PRÉCISION

Classification d'après la limite supérieure de l'erreur relative.

— 0,1-0,2 : appareils étalons (étalonnage des autres appareils);
— 0,5-1 : appareils de vérification ou de contrôle généralement transportables. Servent à contrôler le fonctionnement des machines et appareils d'utilisation et à vérifier des compteurs ou des appareils de mesure industriels;
— 1,5-2,5 : appareils industriels, de construction robuste, d'une lecture facile, même à distance.

I - APPAREILS (3)

Mesure et comptage

① — *Courant continu*

~ *Courant alternatif*

⎓ *Courant continu et alternatif*

②

ⓐ

ⓑ

ⓒ

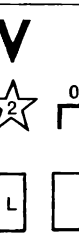
③

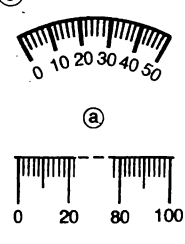
ⓐ

ⓑ

ⓒ

④

⑤ 

⑥ 

8. INDICATIONS DES CARACTÉRISTIQUES

Sur les appareils.

- **Nom ou marque** du constructeur.
- **Unité de mesure** indiquée par un symbole : V volt, A ampère, mA milliampère, etc.
- **Nature du courant** (fig. 1).
- **Fréquence nominale.**
- **Tension d'épreuve diélectrique** (fig. 2) : *(a)* Tension d'épreuve égale à 500 V ; *(b)* Tension d'épreuve supérieure à 500 V (exemple : 2 kV) ; *(c)* Appareil non prévu pour supporter une tension d'épreuve diélectrique.
- **Position d'emploi** (fig. 3). Appareil à utiliser en plaçant le cadran : *(a)* verticalement ; *(b)* horizontalement ; *(c)* dans une position inclinée (exemple : 60°).
- **Classe de précision :** 0,1-0,2-0,5 et 1-1,5-2,5.
- **Référence aux règles** (fig. 4).
- **Nature des phénomènes** intervenant dans le fonctionnement de l'appareil (symboles, planche E. 41).
- **Symbole des accessoires** s'il y a lieu : shunt, résistance, redresseur, transformateur de courant, etc.

Exemple d'indications et de symboles groupés (fig. 5).
Voltmètre à courant continu et alternatif jusqu'à 250 Hz dont la tension d'épreuve diélectrique est de 2 kV, de classe de précision 0,5, conforme à la publication C 42-100, position horizontale, ferromagnétique, avec résistance extérieure (dont on tient compte dans la graduation).

Sur les accessoires.

Exemple d'un shunt appartenant à un appareil nommément désigné.

- **Nom ou marque** du constructeur.
- **Désignation** de l'appareil auquel il appartient.
- **Courant nominal** de l'ampèremètre.
- **Chute de tension** nominale du shunt.
- **Symbole** indiquant la tension d'épreuve diélectrique.

9. CARACTÉRISTIQUES DES ÉCHELLES

Les échelles sont caractérisées par :

- **leur forme** (fig. 6) : (a) arc de cercle, (b) rectiligne ;
- **leur nombre.** Si l'appareil possède plusieurs calibres, le cadran peut comporter plusieurs échelles ; à une même graduation peuvent correspondre plusieurs série de nombres.
- **la disposition de la graduation :** traits de deux, trois et exceptionnellement quatre longueurs différentes. Les échelles sont graduées soit en unités de la grandeur mesurée, soit en multiples ou sous-multiples de cette unité.
- la valeur d'une division, dans le cas d'un appareil gradué en unités de la grandeur à mesurer.

Exemples : échelle curviligne avec emploi de 2 traits de longueur différente, indications de 5 en 5 divisions (fig. 6 a).
— échelle rectiligne avec emploi de 3 traits de longueur différente, indications de 10 en 10 divisions (fig. 6 b).

II - MÉTHODE GÉNÉRALE
et erreurs de mesure.

E. 44

1. MÉTHODE GÉNÉRALE DE MANIPULATION

— Établissement du schéma de montage de la manipulation.
Tracé des tableaux où seront notées les mesures.

— Exécution du montage. Les fils seront disposés de façon à faciliter la vérification du montage (éviter les croisements).

— Choix de la section et de l'isolement des conducteurs en fonction de l'intensité et de la tension.

Choix des appareils et de leur calibre; effectuer leur mise à zéro.

— Mise sous tension et lecture des appareils; recueillir les renseignements nécessaires aux conversions et aux corrections.

— Enregistrement des mesures, et calculs.

— Etablissement du compte rendu : titre et but de la manipulation, caractéristiques du matériel à utiliser, justification de la méthode, schéma de montage de l'essai, tableau de consigne des mesures, calculs, résultats, interprétation des résultats, conclusion et justification générale.

Exemples de tableau de consigne des mesures et des résultats.

A Chauvin et Arnoux n° ..... ⌓ ⎓ ⊓					**V** AOIP n° ..... ⌓ ⎓ ⊓ 1 000 Ω/V					Résultats
Calibre	Divisions	Coefficient	Lecture	Valeur	Calibre	Divisions	Coefficient	Lecture	Valeur	$R = \frac{U}{I}$ en Ω
5 A	100	0,05	60	3	300	150	2	81	162	54

2. ERREURS DE MESURE ET APPROXIMATIONS

Les erreurs peuvent être :

— **accidentelles** : instruments de mesure (types d'appareils, usure des pivots, etc.) et opérateur.

— **systématiques** : méthodes de mesure. La température, la fréquence du courant, l'action d'un champ magnétique extérieur peuvent être la cause d'erreurs.

Erreur absolue. Différence entre la valeur approchée M et la valeur exacte E.

Exemple : la mesure d'une résistance donne : 122 Ω alors que sa valeur réelle est 120 Ω. Erreur absolue : $122 - 120 = 2$ Ω.

Erreur relative. Rapport de l'erreur absolue $M - E$, à la valeur exacte E.

$$\frac{M - E}{E}.$$

Exemple : l'erreur relative commise dans la mesure ci-dessus est de $2 : 120 = \mathbf{0,016}$ ou **1,6 %**.

Pour limiter les erreurs on fait plusieurs mesures et l'on adopte comme valeur approchée la moyenne arithmétique des différentes valeurs obtenues.

Exemple : trois mesures ont été faites sur une résistance : 10,4 Ω, 10,8 Ω, 10,3 Ω.

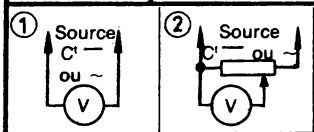
La résistance moyenne est :

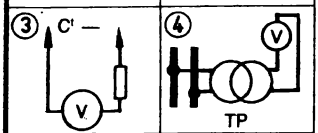
$$\frac{10,4 + 10,8 + 10,3}{3} = \mathbf{10,5}\ \Omega.$$

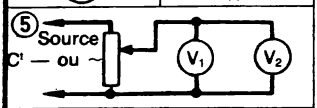
ÉPREUVE DE MANIPULATION AU C. A. P.

Elle comprend le montage des appareils en conducteurs volants et l'établissement d'une fiche d'essais (caractéristiques des appareils, schéma de montage, consigne des mesures et des résultats).

E. 45 | III - MESURES ÉLECTRIQUES

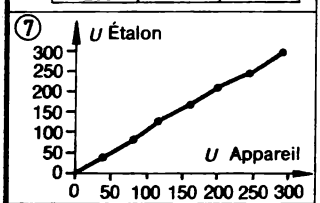


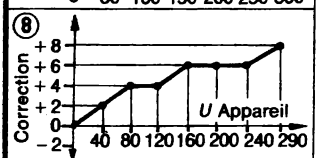


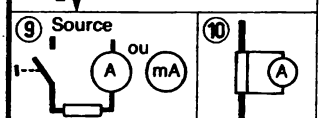


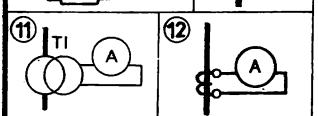
⑥

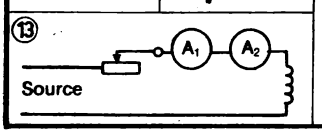
Lectures Appareil à vérifier	Lectures Appareil étalon	Correction
0	0	0
40	42	+2
80	84	+4
120	124	+4
160	166	+6
200	206	+6
240	246	+6
290	298	+8











1. MESURE DES TENSIONS

Le voltmètre se branche en dérivation aux bornes du circuit à contrôler.

Mesure avec voltmètre à un ou plusieurs calibres (courant continu et alternatif) (fig. 1-2).

Fig. 2 : résistance à prises multiples ou potentiomètre.

Mesure avec voltmètre et résistance additionnelle (courant continu) (fig. 3).

Mesure avec voltmètre et transformateur de potentiel (courant alternatif) (fig. 4).

Exemple : rapport de transformation du transformateur : $\frac{750\ V}{150\ V} = 5$. Voltmètre, calibre 150 V, 150 divisions, lecture 100 divisions. Valeur de la tension mesurée : $100 \times 5 = 500$ V.

Vérification de l'étalonnage d'un voltmètre (courbe de correction). L'exactitude des appareils diminuant à l'usage, il est nécessaire de les vérifier de temps en temps à l'aide d'appareils étalons. On corrige les lectures faites sur les échelles en réétalonnant les voltmètres. On établit :

— soit des courbes d'étalonnage :
U appareil = f(U étalon)

— soit des courbes de correction (ou d'erreur absolue) :
U appareil = f (correction).

Ces dernières sont plus précises car l'échelle est plus grande.

Exemple : Voltmètre à vérifier V_1
300 V, résistance 333 Ω par V, à cadre mobile.
Voltmètre étalon V_2
300 V, résistance 1 000 Ω par V, à cadre mobile.
Fig. 5 : schéma de montage : emploi d'un potentiomètre.
Fig. 6 : tableau de consigne des mesures.
Fig. 7 : courbe d'étalonnage du voltmètre V_1.
Fig. 8 : courbe de correction.

2. MESURE DES INTENSITÉS

L'ampèremètre se branche en série dans le circuit.

Mesure avec ampèremètre à un ou plusieurs calibres (courant continu et alternatif) (fig. 9).

Mesure avec ampèremètre et shunt (courant continu) (fig. 10).

Exemple : Ampèremètre : 0,1 V - 100 divisions.
Shunt : 100 A - 0,1 V.
Déviation de l'ampèremètre : 80 divisions. Valeur : 80 A.

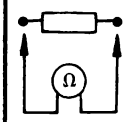
Emploi d'un transformateur d'intensité (fig. 11).

Emploi d'une pince (fig. 12).

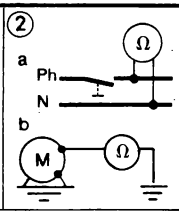
Exemple : Pince : rapport 1 000/1.
Milliampèremètre : 150 mA, 150 divisions.
Déviation du milliampèremètre : 100. Valeur : 100 A.

Vérification de l'étalonnage d'un ampèremètre (courbe de correction) (fig. 13). Même principe que celui utilisé pour les voltmètres.

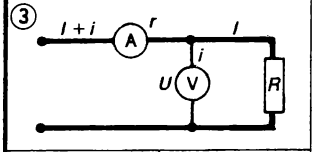
①



②



③



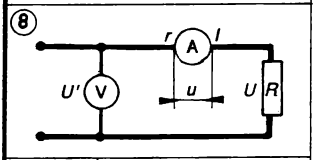
④ $R = \frac{U}{I}$

⑤ $R' = \frac{U}{I+i}$

⑥ $R - R' = \frac{U}{I} - \frac{U}{I+i} = \frac{Ui}{I(I+i)}$

⑦ $\frac{Ui}{I(I+i)} \times \frac{I}{U} = \frac{i}{I+i}$

⑧



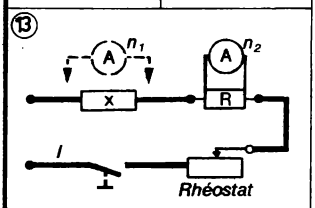
⑨ $R = \frac{U}{I}$

⑩ $R' = \frac{U+u}{I} = \frac{U}{I} + \frac{u}{I} = R + r$

⑪ $R - R' = r$

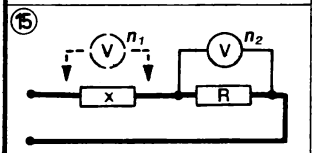
⑫ $\frac{r}{R}$

⑬



⑭ $\frac{xI}{RI} = \frac{n_1}{n_2}$ d'où $x = R\frac{n_1}{n_2}$

⑮



⑯ $x = R\frac{n_1}{n_2}$

3. MESURE DES RÉSISTANCES

Mesure directe à l'aide d'un ohmmètre à pile (fig. 1) ou d'un ohmmètre à magnéto (fig. 2a et 2b).

Méthode voltampèremétrique (courant continu).

Méthode reposant sur la loi d'Ohm $R = \frac{U}{I}$ et valable pour les résistances mortes (éléments de circuit ne comportant ni f.e.m. ni f.c.e.m.).

— **Montage aval** (petites résistances) (fig. 3). L'ampèremètre mesure un courant total I (dans la résistance R) + i (dans le voltmètre).
Valeur réelle (formule 4).
Valeur obtenue (formule 5).
Erreur absolue (formule 6).
Erreur relative (formule 7).
Ce montage est utilisé quand la résistance à mesurer est faible et l'intensité forte (i négligeable devant I).

Exemple : soit $U = 10$ V, $R = 1\ \Omega$.
Voltmètre utilisé : calibre 15 V, 1000 Ω par V soit 15000 Ω.

$$i = \frac{10}{15\,000} = \frac{1}{1\,500}\ \text{A} \qquad I = \frac{U}{R} = \frac{10}{1} = 10\ \text{A}.$$

Donc i est négligeable devant I.

— **Montage amont** (grandes résistances) (fig. 8).
Le voltmètre mesure la tension totale U (aux bornes de R) + u (dans l'ampèremètre).
Valeur réelle (formule 9).
Valeur obtenue (formule 10).
Erreur absolue (formule 11).
Erreur relative (formule 12).
Ce montage est utilisé quand la résistance à mesurer est grande (r négligeable devant R) et l'intensité faible.

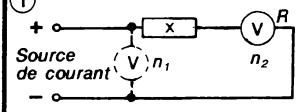
Exemple : soit $U = 220$ V, $R = 10\,000\ \Omega$.
Ampèremètre utilisé : calibre 750 mA, $u \approx 0{,}15$ V.
Donc u (ou r) est négligeable devant U (ou R).

Méthode de comparaison.

— Utilisation d'un **ampèremètre et d'un shunt,** ou d'une résistance connue (petites résistances < 1 Ω) (fig. 13).
Un ampèremètre ou un millivoltmètre est branché successivement aux bornes d'une résistance connue R et de la résistance à déterminer x.
La formule 14 permet de calculer x (déviation : n_1, n_2).
L'intensité I doit être la même pendant les deux mesures.
Cette méthode convient pour la mesure des faibles résistances. La résistance étalon R doit être de l'ordre de grandeur de celle mesurée.

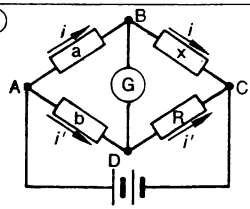
— Utilisation d'un **voltmètre et d'une résistance connue** (grandes résistances) (fig. 15).
La formule 16 permet de calculer x.

①



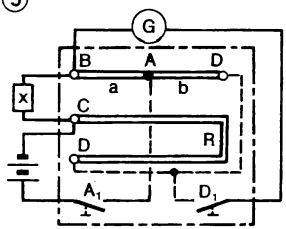
② $\frac{n_1}{x+R} = \frac{n_2}{R}$ d'où $x = R\frac{n_1 - n_2}{n_2}$

③



④ $\frac{ai}{xi} = \frac{bi'}{Ri'}$ d'où $x = \frac{a}{b}R$

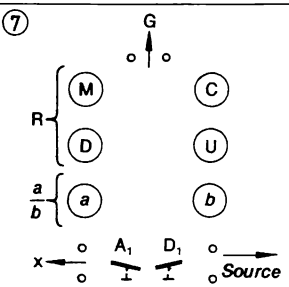
⑤



⑥

a	b	$\frac{a}{b}$	R	$x = \frac{a}{b}R$

⑦



U : *unités.* D : *dizaines.*
C : *centaines.* M : *milliers.*

Méthode du voltmètre (grandes résistances) (fig. 1).

Un voltmètre est branché successivement :
1° aux bornes de la source ;
2° en série avec la résistance à mesurer x (déviation n_1 et n_2).
La formule 2 permet de calculer x.
Cette méthode est peu précise.

Pont de Wheatstone (boîtes à fiches et à décades circulaires).

Le pont (fig. 3) est en équilibre quand le galvanomètre n'est traversé par aucun courant. Les résistances a et b (bras de proportion) et R (résistances de réglage) sont connues, x est la résistance à mesurer.

La formule 4 donne la valeur de x lorsque le pont est équilibré.

La figure 5 précise la disposition pratique du montage qui comprend :

— une boîte unique à fiches renfermant : les résistances a et b (1 000 Ω + 100 Ω + 10 Ω chacune) et R (11 110 Ω variable Ω par Ω), une clé D_1 montée en série avec le galvanomètre et une clé A_1 montée en série avec la source de courant.

— un galvanomètre, une règle, une source de courant, la résistance à mesurer.

Exemple d'utilisation : mesure de la résistance d'un inducteur de machine à courant continu (ordre de grandeur 100 Ω).

1. Shunter le galvanomètre avec une résistance de l'ordre de 20 Ω pour le protéger.

2. Donner à a et b des valeurs égales : 1 000 Ω par exemple.

3. Enlever la fiche « infini ».

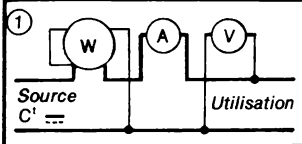
4. Fermer A_1 et attendre quelques secondes pour éviter de faire dévier anormalement G pendant l'établissement du courant (f.e.m. de self).

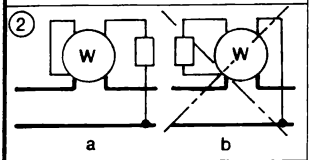
5. Fermer D_1 et observer le sens de la déviation du spot.

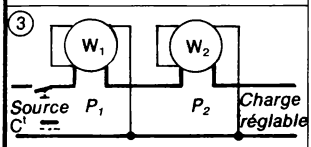
6. Replacer la fiche « infini », puis chercher l'équilibre du pont en essayant successivement les résistances de R. Soit R compris entre 214 et 215 Ω.

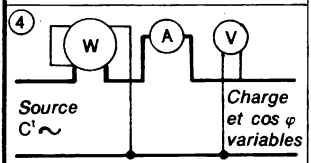
7. Dès que l'équilibre est obtenu, augmenter la précision de la mesure en prenant un rapport $\frac{a}{b}$ dix fois plus petit et supprimer le shunt du galvanomètre pour utiliser toute sa sensibilité. Soit $\frac{a}{b} = \frac{100}{1\,000} = \frac{1}{10}$ et, à l'équilibre, $x = \frac{1}{10} \times 2145 = 214{,}5\ \Omega$. Résultats à consigner (fig. 6).

La figure 7 donne la disposition générale d'une boîte à pont de Wheatstone, à décades circulaires.







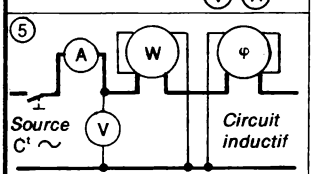


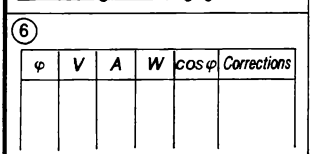
$P = UI \cos \varphi$

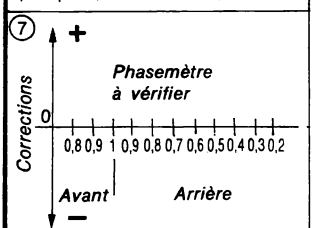
$S = UI$

$Q = UI \sin \varphi = S \sin \varphi$

$\cos \varphi = \dfrac{P}{UI}$







4. MESURE DES PUISSANCES

4.1. Courant continu.

— Avec wattmètre (fig. 1).

On peut utiliser une résistance additionnelle sur le circuit fil fin lorsque la tension du récepteur dépasse le calibre de l'appareil (fig. 2a).

Pour éviter une tension trop élevée entre les deux bobines du wattmètre (isolement) on place la résistance additionnelle sur le fil non connecté au circuit d'intensité (fig. 2a).

La figure 2b indique un mauvais montage.

Exemple d'emploi : wattmètre calibre 5 A 150 V. 150 divisions. Lecture : 120.

$$P = \frac{5 \times 150}{150} \times 120 = 600 \text{ W}.$$

— Avec voltmètre et ampèremètre.

La formule $P = UI$ permet de déterminer la puissance en utilisant un voltmètre et un ampèremètre.

Les remarques faites à propos de la méthode voltampèremétrique, en ce qui concerne les montages amont et aval, sont valables pour la mesure des puissances.
Voir montage fig. 1.

— Vérification de l'étalonnage d'un wattmètre (courbe de correction).

On compare les lectures faites sur le wattmètre à essayer (W_1) à celles faites sur un wattmètre étalon (W_2) (fig. 3).

La courbe de correction est obtenue en faisant :

$$P_1 - P_2 = f(P_1)$$

4.2. Courant alternatif monophasé.

Puissance active, avec wattmètre (fig. 4).

Puissance apparente, avec voltmètre et ampèremètre (fig. 4).

Puissance réactive connaissant les puissances active et apparente ou la puissance apparente et *sin* φ.

Applications.

1. Détermination du facteur de puissance d'un circuit avec wattmètre, voltmètre et ampèremètre (figure et formules 4).

2. Vérification de l'étalonnage d'un phasemètre.

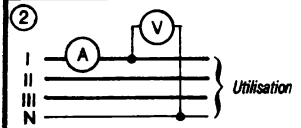
Fig. 5 : montage : circuit inductif dont le *cos* φ peut varier de 0,8 en « Avant » à 0,2 en « Arrière ».

Fig. 6 : relevé des mesures.

Fig. 7 : courbe de correction.

① $S = S_1 + S_2 + S_3$

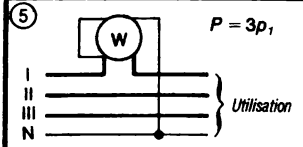
②



③ $S = 3S_1$

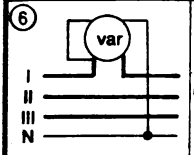
④ $P = p_1 + p_2 + p_3$

⑤



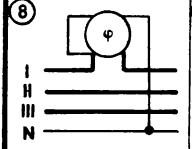
$P = 3p_1$

⑥



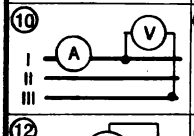
⑦ $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

⑧



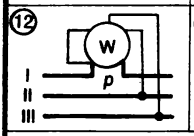
⑨ $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

⑩



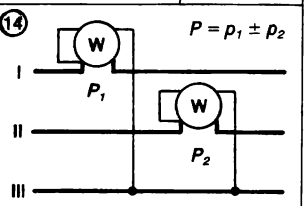
⑪ $S = UI\sqrt{3}$

⑫



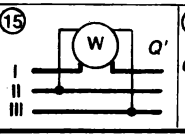
⑬ $P = 3p$

⑭



$P = p_1 \pm p_2$

⑮



⑯ $Q = UI\sqrt{3}\sin\varphi = Q'\sqrt{3}$

4.3. Courant alternatif triphasé à quatre conducteurs.

Puissance apparente, avec voltmètre et ampèremètre. La puissance apparente totale est égale à la somme des puissances absorbées par chaque phase (formule 1). Si les trois phases sont équilibrées, un ampèremètre et un voltmètre suffisent : (fig. 2 et formule 3).

Puissance active, avec wattmètre. Puissance active totale (formule 4).
Montage d'un seul wattmètre dans le cas d'équilibrage des trois phases (fig. 5).

Puissance réactive :
— avec wattmètre réactif (fig. 6) ;
— par détermination, connaissant P et S (formule 7).

Facteur de puissance :
— avec phasemètre (fig. 8) ;
— par détermination, connaissant P et S (formule 9).

4.4. Courant alternatif triphasé à trois conducteurs.

Puissance apparente, avec voltmètre et ampèremètre (formule 11 et montage 10).

Puissance active, avec wattmètre la mesurant directement.
Un point neutre est artificiellement créé à l'aide de résistances additionnelles situées dans le wattmètre. Il faut multiplier par 3 les indications données par le wattmètre. Montage (fig. 12). Formule 13.

Puissance active, avec emploi de la méthode des deux wattmètres (circuit déséquilibré).
Montage (fig. 14).
La mesure peut s'effectuer avec un seul wattmètre et un commutateur permettant de placer la bobine intensité successivement sur les phases I et II et la bobine tension entre les phases I-III et II-III.

Puissance réactive, avec wattmètre.
Montage (fig. 15).
Valeur de Q : le wattmètre indique $UI \sin \varphi$; il faut multiplier ses indications par $\sqrt{3}$ (formule 16).

Puissance active, avec wattmètre la mesurant directement.

Remarques. La détermination des puissances actives et réactives, en triphasé, implique certaines mesures pour l'utilisation rationnelle des wattmètres :
— connaissance de l'ordre de succession des phases ;
— vérification des entrées et sorties des enroulements du wattmètre pour qu'à une puissance positive corresponde bien une déviation positive (à respecter lors des mesures ultérieures) ;
— croisement des deux fils tensions pour l'obtention d'une déviation négative ;
— contrôle de l'adaptation du calibre du wattmètre par l'utilisation d'un ampèremètre et d'un voltmètre dans le circuit.

①

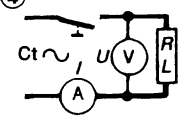
$W_1 = P$	t
Wh	W	h

②

$W_2 = k$	n
Wh	Wh	

③ $e_r = \dfrac{W_2 - W_1}{W_1}$

④



⑤

$Z = \dfrac{U}{I}$	
Ω	V	A

⑥ $Z = \dfrac{U}{I} = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$

d'où $L\omega = \sqrt{Z^2 - R^2}$

avec $L\omega$, Z et R en Ω

⑦ $L = \dfrac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}$

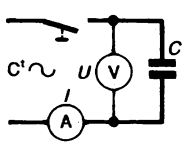
L *en* H. Z *et* R *en* Ω
ω (*en* rad/s) $= 2\pi f$
si $f = 50$ Hz, $\omega = 314$ rad/s

⑧
$I = UC\omega$

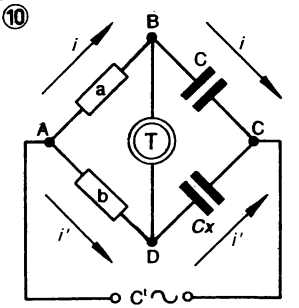
$C = \dfrac{I}{U\omega}$

C *en* F
U *en* V
ω *en* rad/s

⑨



⑩



⑪ $\dfrac{\dfrac{ai}{i}}{C\omega} = \dfrac{\dfrac{bi'}{i'}}{Cx\omega}$ *d'où* $Cx = C\dfrac{a}{b}$

5. COMPTAGE DE L'ÉNERGIE

Compteur d'énergie active, monophasé.

Vérification et réglage : emploi d'un wattmètre étalon.
Énergie fournie (formule 1).
L'énergie enregistrée par le compteur pendant un temps donné est égale au produit de l'énergie correspondant à un tour du disque k (constante) par le nombre de tours du disque (formule 2).
Erreur absolue : $W_2 - W_1$.
Erreur relative (formule 3).
L'essai se fait aux charges suivantes : $\frac{1}{10}$; $\frac{1}{2}$; $\frac{1}{1}$; $\frac{2}{1}$ de l'intensité nominale, à $\cos\varphi = 1$ et à $\cos\varphi = 0{,}5$.

6. ÉTUDE D'UN CIRCUIT INDUCTIF.

Détermination de l'impédance d'un circuit à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre.
Montage (fig. 4. Formule 5).

Détermination de la réactance $L\omega$ *(formule 6 et montage 4).*
La résistance R sera mesurée, soit par la méthode voltampèremétrique (montage amont ou aval, selon la valeur de R) en courant continu, soit à l'aide du pont de Wheatstone.

Détermination de l'inductance L (formules 6 et 7).

7. MESURE D'UNE CAPACITÉ C

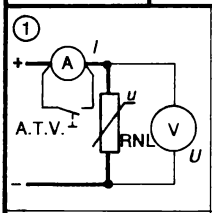
Emploi d'un voltmètre et d'un ampèremètre (formule 8 et montage 9).
La fréquence du secteur est connue.

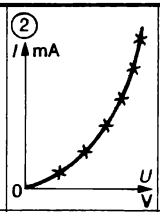
Emploi du pont de Sauty (Capacimètre).
Le pont (fig. 10) comprend :
— deux résistances ab non inductives (bras de proportion) ;
— un condensateur C_x à mesurer ;
— un condensateur étalon C de capacité connue de même ordre de grandeur que C_x ;
— deux écouteurs téléphoniques T, de grande résistance ($2 \times 1\,000$ Ω environ) ;
— une source de courant ~ fournie par un vibrateur.
L'étendue de mesure peut être la suivante : 0,000 01 à 100 μF.
La formule 11 donne la valeur de C_x lorsque le pont est en équilibre.

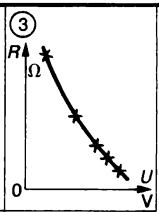
Exemple. A l'équilibre :

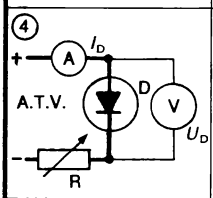
$$C = 0{,}5\ \mu F \quad a = 104 \quad b = 100,$$

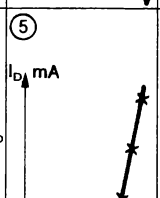
d'où $C_x = 0{,}5 \times \dfrac{104}{100} = 0{,}52\ \mu F.$

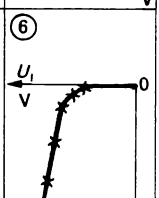


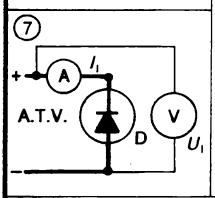


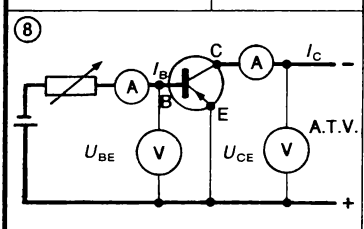


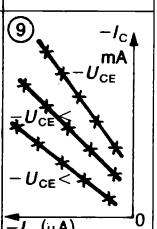


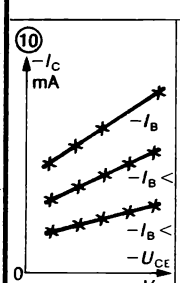


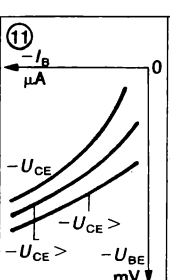


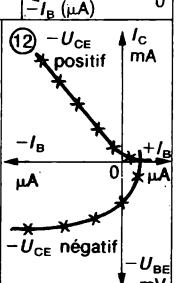


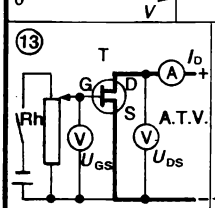


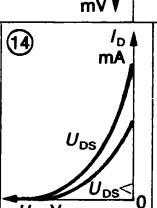


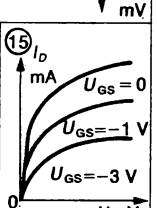












Résistance non linéaire (RNL)

Caractéristiques $I = f(U)$ et $R = f(U)$.

- Montage (fig. 1). La résistance étant faible le montage utilisé est du type « aval ».
A. T. V. : alimentation à tension continue variable.
- Courbe $I = f(U)$ (fig. 2).
- Courbe $R = f(U)$ (fig. 3).

Diode à jonction

— Caractéristique directe $I = f(U)$.

- Montage (fig. 4). Montage aval car la résistance de la diode est faible dans le sens direct. R : résistance de protection.
- Courbe (fig. 5).

— Caractéristique inverse $I = f(U)$.

- Montage (fig. 7). Montage amont car la résistance est élevée dans ce sens.
- Courbe (fig. 6).

Transistor PNP

— Caractéristiques $I_C - f(I_B)$ pour $U_{CE} = c^{te}$.

- Montage (fig. 8).
- Courbes : (fig. 9) (3 valeurs de U_{CE}).

— Caractéristiques $I_C = f(U_{CE})$ pour $I_B = c^{te}$ (caractéristiques de sortie).

- Montage (fig. 8).
- Courbes (fig. 10) (3 valeurs de I_B).

— Caractéristiques $U_{BE} = f(I_B)$. Pour $U_{CE} = c^{te}$ (caractéristiques d'entrée).

- Montage (fig. 8).
- Courbes (fig. 11) (3 valeurs de U_{CE}).

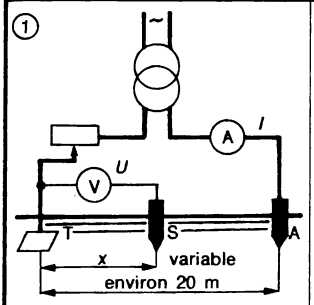
— Caractéristiques $I_C = f(I_B)$ et $U_B = f(I_{BE})$ pour $U_{CE} = c^{te}$.

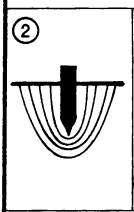
- Courbes (fi. 12).

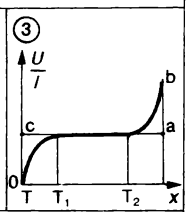
Transistor unipolaire (source commune).

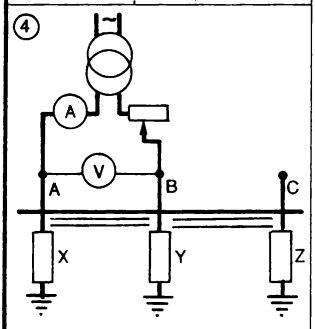
— Caractéristiques statiques.
$I_D = f(U_{GS})$ pour $U_{DS} = c^{te}$.
$I_D = f(U_{DS})$ pour $U_{GS} = c^{te}$.

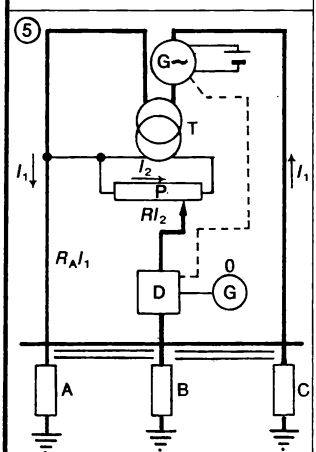
- Montage (fig. 13).
- Courbes (fig. 14 et 15).











Mesure de la résistance d'une prise de terre.

C'est la résistance globale de toutes les résistances de contact. Elle est très faible car on peut admettre qu'elle est constituée par une infinité de couches de terrain (fig. 2) et qu'elle représente la somme des résistances de celles-ci.

Méthode voltampèremétrique (fig. 1).

T : prise de terre dont on veut mesurer la résistance R_I.
A : prise de terre auxiliaire.
S : prise de terre intermédiaire (sonde).
La mesure ne peut être effectuée avec une source à courant continue afin d'éviter les courants telluriques et les phénomènes d'électrolyse qui la perturberaient. On utilise le courant alternatif avec un transformateur qui évite la mise directe à la terre du réseau d'alimentation (24 V environ).
Les mesures sont effectuées afin de construire une courbe représentant les variations de U/I (résistance entre T et S) en fonction de la distance x (fig. 3).
Lorsque la sonde S s'éloigne de T_1 la résistance entre T et S commence par augmenter (OT_1) et garde une valeur constante jusqu'en T_2.
L'ordonnée ab représente la résistance R_A de la prise A.
L'ordonnée T_C du palier horizontal représente la résistance R_I de la prise T.

Variante de la méthode voltampèremétrique (fig. 4).

A : prise dont la résistance X est à mesurer.
B et C : prises de terre auxiliaires situées hors de la zone de contact de A.
Mesure de R_1 entre A et B, du R_2 entre B et C et de R_3 entre A et C.

$$X = \frac{R_1 - R_2 + R_3}{2}.$$

Emploi d'un mesureur de terre (fig. 5).

Il permet d'obtenir, par lecture directe, la résistance cherchée.
A : prise dont on veut mesurer la résistance R_A.
B et C : prises de terre auxiliaires situées à environ 10 m de A.
G~ : générateur alimenté par piles et délivrant une tension alternative d'environ 250 Hz.
T : transformateur de courant fournissant des courants I_1 et I_2 proportionnels et en phase. Rapport de transformation : m.
D : détecteur commandé par G~ ; il traduit la tension alternative qui lui est appliquée, en déviation sur le cadran O central d'un galvanomètre G.
P : potentiomètre permettant, par son réglage, d'amener G à 0.
Lorsque G est à l'équilibre, le point B est au potentiel de la terre. $R_A I_1 = R I_2$. Comme $I_1 = m I_2$, on en déduit

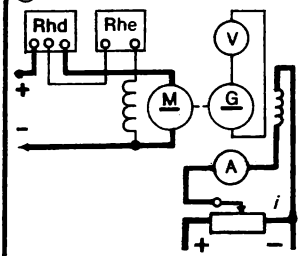
$$R_A = R\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{m}R$$

IV - ESSAIS DE MACHINES

à courant continu

① $E = f(i)$ *pour* $n = C^{te}$

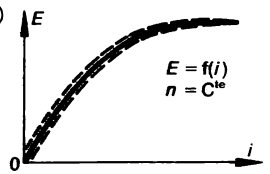
②



③ Dynamo n° .... n = tr/min

Ⓐ Divisions : Calibre :		Ⓥ Divisions : Calibre :		n
Lecture	Valeur i en A	Lecture	Valeur E en V	tr/min

④



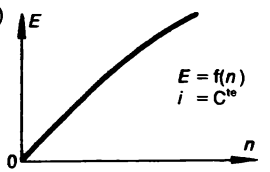
⑤ $E = E' \frac{n}{n'}$

⑥ $E = f(n)$ *pour* $i = C^{te}$

⑦

n	Ⓥ Divisions : Calibre :		i
tr/min	Lecture	Valeur E en V	en A

⑧



1. DYNAMO À EXCITATION INDÉPENDANTE

1.1. Caractéristique à vide pour une vitesse constante.

C'est la courbe de la f.e.m. E en fonction de l'intensité du courant d'excitation i, pour une vitesse n constante (formule 1).

Appareils nécessaires.

— Voltmètre pour mesure de E.

— Ampèremètre pour mesure de i et potentiomètre pour obtenir les variations de i.

— Tachymètre pour vérifier n et rhéostat d'excitation du moteur d'entraînement pour réglage et maintien de n.

Montage (fig. 2).

Tableau de consigne des mesures (fig. 3).

Déroulement. On fait croître progressivement i et on note les valeurs correspondantes de E. Pendant tout l'essai on maintient la vitesse constante en agissant, si besoin est, sur le rhéostat d'excitation du moteur.

Dès que l'intensité d'excitation maximum i_m (valeur dépendant de la tension nominale de l'enroulement) est atteinte, on procède de même mais en faisant décroître i (phénomène d'hystérésis).

Tracé de la caractéristique (fig. 4).

On porte en abscisse les valeurs de i, et en ordonnée les valeurs de E.

La courbe en trait plein représente la caractéristique à vide moyenne de la machine.

Remarque. Si la vitesse n' du moteur diffère légèrement de la vitesse n choisie, on corrige la f.e.m. trouvée en utilisant la formule 5.

1.2. Caractéristique à vide pour un courant d'excitation constant.

C'est la courbe de la f.e.m. E en fonction de la vitesse de la dynamo n, pour une intensité du courant d'excitation constante : (formule 6).

Appareils nécessaires : les mêmes que ceux utilisés pour l'essai précédent.

Montage (fig. 2).

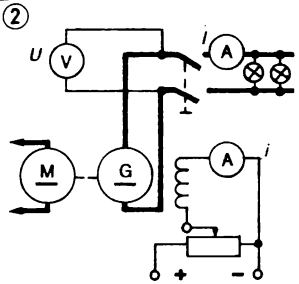
Tableau de consigne des mesures (fig. 7).

Déroulement. On fait croître progressivement n et on mesure E, en maintenant i constant.

Tracé de la caractéristique (fig. 8).

① $U = f(I)$ pour $i = C^{te}$, $n = C^{te}$

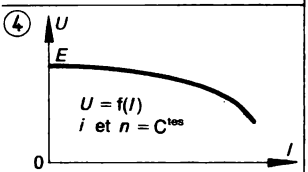
②



③

Ⓐ Divisions : Calibre :		Ⓥ Divisions : Calibre :		i	n
Lecture	Valeur I en A	Lecture	Valeur U en V		

④



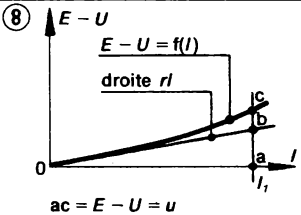
⑤ $U \approx U' \frac{n}{n'}$

⑥ $E - U = f(I)$ pour $i = C^{te}$, $n = C^{te}$

⑦

I en A	E en V	U en V	$E-U$ en V

⑧



$ac = E - U = u$
$ab = rI_1 = u_1$
$bc = u - u_1 = u_2$

1.3. **Caractéristique en charge.**

C'est la courbe de la d.d.p. aux bornes de la dynamo en fonction de l'intensité débitée, le courant d'excitation et la vitesse de la machine restant constants (formule 1).

Appareils utilisés. Les mêmes que ceux utilisés dans l'essai à vide, plus ampèremètre mesurant l'intensité débitée et un rhéostat de charge.

Montage (fig. 2).

Tableau de consigne des mesures (fig. 3).

Déroulement. On fait croître progressivement la charge de la dynamo et on relève U. La vitesse est maintenue constante en agissant sur le rhéostat d'excitation du moteur. Au départ, la tension à vide est réglée à une valeur dépassant la tension nominale d'environ 5 à 10%.

Tracé de la caractéristique (fig. 4).
Pour $I = 0$, la tension correspond à E.

Remarque. Si, au cours de l'essai, la vitesse n' diffère légèrement de la valeur nominale n, on corrige la d.d.p. lue U' en utilisant la formule 5.

1.4. **Courbe de réaction totale d'induit.**

C'est la courbe qui traduit la chute de tension totale de la machine en fonction de l'intensité débitée, pour une intensité du courant d'excitation et une vitesse constantes (formule 6).

On l'obtient en utilisant les mesures consignées dans le tableau précédent (fig. 3).

Tableau des valeurs (fig. 7).

Tracé de la caractéristique (fig. 8).

La droite $u_1 = rI$ représente la chute ohmique dans l'induit. On l'obtient en déterminant sa résistance r par la méthode voltampèremétrique et en la multipliant par I.

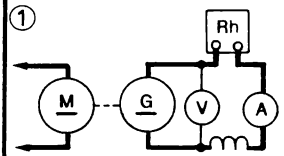
Pour une intensité I_1, la chute de tension u_2 due à la réaction magnétique de l'induit est égale à la différence entre l'ordonnée $E - U = u$ et l'ordonnée $rI = u_1$.

2. DYNAMO À EXCITATION EN DÉRIVATION (shunt).

2.1. **Caractéristique à vide pour une vitesse constante.**

C'est la courbe de la f.e.m. E en fonction de l'intensité du courant d'excitation i, la machine étant excitée en dérivation, pour une vitesse n constante.

IV - ESSAIS DE MACHINES
à courant continu

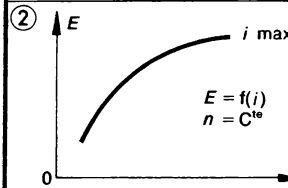
① 

Montage (fig. 1).

Tableau de consigne des mesures : *E* et *i*.

Déroulement. La machine est entraînée à sa vitesse normale, maintenue constante pendant l'essai. On fait décroître *i* depuis sa plus grande valeur (rhéostat court-circuité) jusqu'au désamorçage de la dynamo et l'on relève les valeurs de *E* et de *i*.

Tracé de la caractéristique (fig. 2).

② 

2.2. Caractéristique à vide

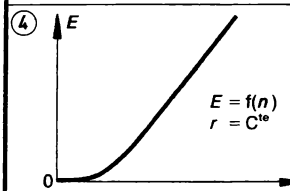
pour la résistance du circuit inducteur constante.

C'est la courbe de la f.e.m. *E* en fonction de la vitesse *n*, la résistance du circuit inducteur restant constante (formule 3).

③ $E = f(n)$ *pour* $r = C^{te}$

Montage (fig. 1).

Tableau de consigne des mesures : *E* et *n*.

④ 

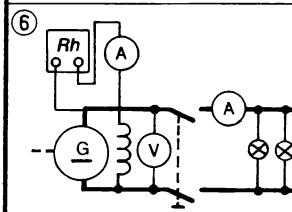
Déroulement. On fait tourner la dynamo et on règle l'intensité du courant d'excitation à l'aide du rhéostat, à sa valeur normale. On relève les valeurs de *E* et de *n*, sans toucher au rhéostat.

Tracé de la caractéristique (fig. 4).

⑤ $U = f(I)$ *pour* n *et* $r = C^{tes}$

2.3. Caractéristique en charge.

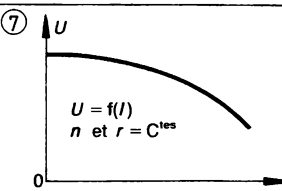
C'est la courbe de la d.d.p. aux bornes de la dynamo en fonction de l'intensité du courant débité, à vitesse et résistance du circuit d'excitation constantes (formule 5).

⑥ 

Montage (fig. 6).

Tableau de consigne des mesures : *u* et *I*.

Déroulement. On règle la f.e.m. à 5 ou 10 % au-dessus de la tension nominale. On charge progressivement la machine puis, sans toucher au rhéostat d'excitation, on relève *U* et *I* en maintenant *n* constant.
Tracé de la caractéristique (Fig. 7).

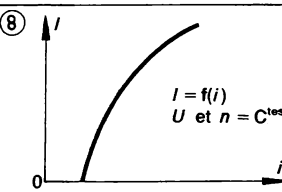
⑦ 

2.4. Courbe de réglage.

C'est la courbe de l'intensité débitée en fonction de l'intensité d'excitation, pour une d.d.p. aux bornes et une vitesse constantes.

Montage (fig. 6).

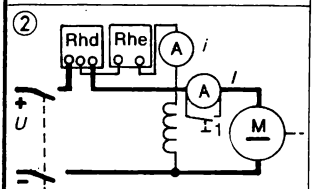
Tableau de consigne des mesures : *I* et *i*.

⑧ 

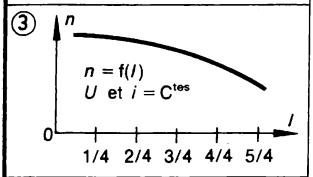
Déroulement. On charge progressivement la dynamo et on maintient la d.d.p. *U* constante en agissant sur le rhéostat d'excitation. La vitesse est également maintenue constante. On relève *I* et *i*.

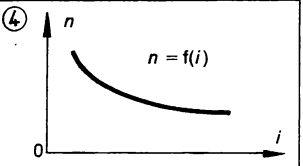
Tracé de la caractéristique (fig. 8).

① $n = f(I)$ *pour* U et $i = C^{te}$

② 

1. *Interrupteur destiné à court-circuiter les bornes de l'ampèremètre pendant le démarrage.*

③ 

④ 

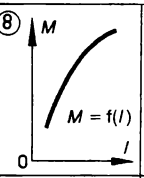
⑤ $M = f(I)$ pour U et $i = C^{te}$

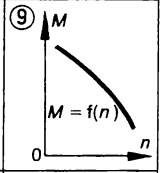
⑥ $$M = \frac{P_m}{2\pi n} = \frac{UI\eta}{2\pi n}$$

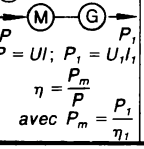
M *en* N·m; P_m *en* W; n *en* tr/min

⑦

U V	I A	η	P_m W	n tr/min	M N·m

⑧ 

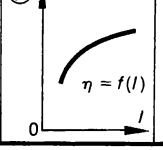
⑨ 

⑩ 

$P = UI$; $P_1 = U_1 I_1$

$$\eta = \frac{P_m}{P}$$

avec $$P_m = \frac{P_1}{\eta_1}$$

⑪ 

3. MOTEUR A EXCITATION EN DÉRIVATION (shunt).

3.1. Caractéristique de vitesse.

C'est la courbe de variation de la vitesse en fonction de l'intensité du courant absorbée par le moteur, pour une tension U aux bornes et un courant d'excitation i constants (formule 1).

Montage (valable pour plusieurs essais) : (fig. 2).

Tableau de consigne des mesures : n et I.

Déroulement. Le démarrage étant effectué, on règle le rhéostat d'excitation du moteur de façon à obtenir une intensité d'excitation normale. On charge progressivement le moteur en lui faisant entraîner une génératrice qui débite dans un rhéostat.

3.2. Variation de la vitesse avec le courant d'excitation.

Le moteur entraîne la génératrice à vide (non chargée) et on relève la vitesse n en fonction du courant d'excitation i, U étant constant (fig. 4).

3.3. Caractéristique électro-mécanique.

C'est la courbe du moment du couple moteur M en fonction de l'intensité du courant absorbée par le moteur (formule 5).

Montage (fig. 2).

Tableau de consigne des mesures (fig. 7).

La formule 6 montre que, pour obtenir M en N·m, il est nécessaire de connaître P_m ou $UI\eta$ *et* n.

Déroulement. Le même que pour la caractéristique de vitesse.

Tracé de la caractéristique (fig. 8).

3.4. Caractéristique mécanique.

C'est la courbe du moment du couple moteur M en fonction de la vitesse, pour une tension d'alimentation et un courant d'excitation constants.

Les deux courbes $n = f(I)$ (fig. 3) et $M = f(I)$ (fig. 8) permettent de déterminer $M = f(n)$ (fig. 9).

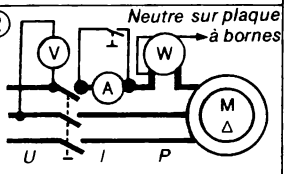
Il suffit de relever sur les deux courbes deux valeurs correspondantes de M et de n que l'on porte respectivement en ordonnée et en abscisse.

Rendement. Courbe de η *en fonction de* I, connaissant la courbe de rendement η_1 *de la dynamo (fig. 10 et 11).*

V - ESSAIS DE MACHINES

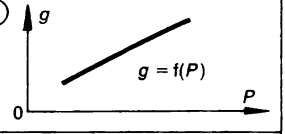
à courant alternatif

① $\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI\sqrt{3}} = \frac{3p}{UI\sqrt{3}}$

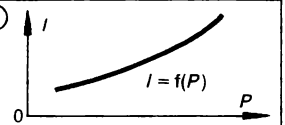
② 

③ $g = \frac{n - n'}{n}$

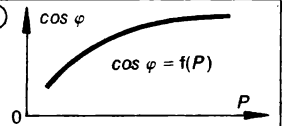
④ $g = f(P)$

⑤ 

⑥ $I = f(P)$

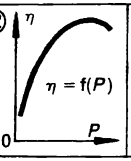
⑦ 

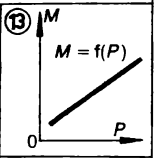
⑧ $\cos\varphi = \frac{P}{UI\sqrt{3}} = f(P)$

⑨ 

⑩ $\eta = \frac{P_m}{P} = f(P)$

⑪ $M = \frac{P_m}{2\pi n} = f(P)$

⑫ 

⑬ 

1. MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASÉ

Cas d'un moteur à rotor en court-circuit dont la plaque à borne est connectée en Y (neutre accessible).

1.1. Essai à vide.

Facteur de puissance à vide (formule 1).

Il est nécessaire de connaître la puissance absorbée par le moteur P (emploi d'un wattmètre), la d.d.p. entre phases U (emploi d'un voltmètre), la d.d.p. entre phases U (emploi d'un voltmètre branché entre deux phases) et l'intensité absorbée I (emploi d'un ampèremètre).

— Montage (fig. 2, valable pour les essais suivants).

— Déroulement. Le moteur tournant à vide, on relève P, U et I. Dans ce montage, la puissance absorbée est égale à 3 fois la puissance mesurée au wattmètre, en supposant que les enroulements du moteur sont équilibrés.

Détermination du glissement par la mesure directe de la vitesse à l'aide d'un tachymètre (formule 3).

n : nombre de tours par minute correspondant à la vitesse du synchronisme.

n' : vitesse du rotor lue au tachymètre.

1.2. Essais en charge.

On accouple le moteur à une génératrice à courant continu que l'on charge. Du côté moteur, le montage est identique à celui de la figure 2.

Courbe du glissement g, en fonction de la puissance absorbée P (formules 3 et 4, courbe 5).

Courbe de l'intensité absorbée, en fonction de P (formule 6, courbe 7).

Courbe du facteur de puissance, en fonction de P (formule 8, courbe 9).

Courbe du rendement en fonction de P (formule 10, courbe 12).

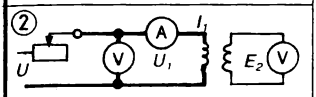
La puissance mécanique P_m est donnée par la génératrice, soit : $\frac{U_1 I_1}{\eta_1}$.

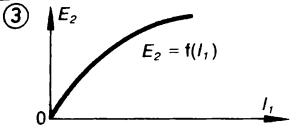
Courbe du couple M, en fonction de P (formule 11, courbe 13, tableau 14).

⑭

U	I	S	P	n	g	$\cos\varphi$	η	M	U_1	I_1	P_1	η_1	P_m
		$= UI\sqrt{3}$	$= 3p$		$= \frac{n-n'}{n}$	$= \frac{P}{S}$	$= \frac{P_m}{P}$	$= \frac{P_m}{2\pi n}$					$= \frac{P_1}{\eta_1}$
V	A	VA	W	tr/min				N·m	V	A	W		W

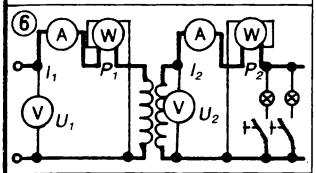
① $E_2 = f(I_1)$ *avec* $I_2 = 0$

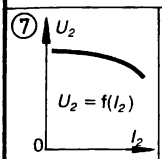
②


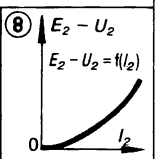
③


④ $k = \frac{E_2}{U_1}$

⑤ $U_2 = f(I_2)$ *pour* $\cos \varphi_2 = 1$

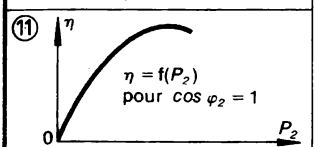
⑥


⑦


⑧


⑨ $k' = \frac{U_2}{U_1}$ pour I_2 max.

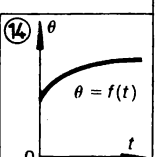
⑩ $\eta = \frac{P_2}{P_1} = f(P_2)$

⑪


⑫

U_1 V	I_1 A	P_1 W	U_2 V	I_2 A	P_2 W	$E_2 - U_2$	η

⑬ $\theta = f(t)$
θ *en* °C
t *en* h

⑭


2. TRANSFORMATEURS

2.1. **Essai à vide d'un transformateur monophasé** (secondaire ouvert).

Courbe d'aimantation. Courbe des valeurs de la tension secondaire E_2, à circuit ouvert, en fonction de l'intensité du courant primaire I_1 : (formule 1).

— Montage (fig. 2).

— Déroulement : on fait croître l'intensité I_1 en utilisant une source à tension variable ou une source à tension fixe et un rhéostat.

— Courbe (fig. 3). Valeurs relevées : E_2 et I_1.

Rapport de transformation à vide.

Rapport de la tension secondaire à vide E_2 à la tension primaire U_1 (formule 4).

2.2. **Essai direct en charge d'un transformateur monophasé ;** circuit secondaire non inductif ($\cos \varphi_2 = 1$).

Variations de la tension secondaire U_2 en fonction du courant débité I_2 (formule 5).

— Montage (fig. 6, valable pour les essais suivants).

— Déroulement. On charge progressivement le secondaire et on relève U_2 et I_2.

— Courbe (fig. 7).

Courbe de chute de tension secondaire.

Différence entre la tension à vide E_2 et la tension en charge U_2, en fonction de I_2 (fig. 8).

Rapport de transformation en charge.

Rapport de la tension secondaire U_2 (pour la pleine charge du transformateur), à la tension primaire U_1 (formule 9).

Rendement. Rapport entre la puissance débitée par le secondaire P_2 à la puissance fournie au primaire P_1 (formule 10).

— Courbe (fig. 11).

— Tableau de consigne des mesures (fig. 12).

Remarques.

1. Lorsque $I_2 = 0$ (secondaire à vide), P_1 indique les pertes à vide du transformateur.

2. Le $\cos \varphi_1$ (primaire) s'obtiendrait en divisant P_1 (en W) par le produit $U_1 I_1$ (en VA).

3. L'essai d'échauffement se conduirait en faisant débiter le transformateur jusqu'à la température d'équilibre (formule 13, courbe 14). La température serait déterminée par la formule donnant les variations de résistance avec la température.

4. Pour les transformateurs triphasés, les essais sont identiques. Les mesures se font en utilisant les méthodes préconisées pour le courant triphasé.

TECHNOLOGIE

I. MATÉRIAUX UTILISÉS EN ÉLECTRICITÉ
II. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES INSTALLATIONS
III. TERMES CARACTÉRISTIQUES
IV. APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE
V. PRODUCTION, TRANSPORT ET DISTRIBUTION
VI. UTILISATION DE L'ÉNERGIE
VII. SÉCURITÉ DANS L'EMPLOI DES COURANTS
VIII. INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES
IX. BOBINAGE
X. DÉPANNAGE
XI. ORGANISATION DES ENTREPRISES

E. 59 I - MATÉRIAUX

1. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES ET CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES

1.1. Propriétés physiques et mécaniques.

Poids spécifique *d* : poids d'un dm^3 du matériau considéré : kg/dm^3.

Conductibilité thermique : propriété que possèdent certains corps de transmettre plus ou moins bien la chaleur.

Température de fusion *t* : température à laquelle le matériau passe de l'état solide à l'état liquide.

Température limite d'utilisation : température que peut supporter le matériau sans se détériorer.

Ténacité : résistance qu'offre un matériau aux efforts de déformation lente (traction, compression, cisaillement, flexion, torsion).

Coefficient de dilatation : allongement de l'unité de longueur d'un matériau pour une élévation de température de 1 °C.

Élasticité : propriété que possèdent les corps de se déformer sous l'action d'un effort et de revenir exactement à leur forme initiale lorsque l'effort a cessé.

Coefficient d'allongement : allongement subi par une éprouvette dont la longueur initiale est de 100 mm.

Limite élastique à l'extension : quotient de la charge correspondant à la limite élastique, par la section initiale.

Résistance à la rupture par extension R_r : quotient de la charge maximale, par la section initiale.

Résistance au choc : la résilience (ou non fragilité) est la résistance opposée par les matériaux aux efforts brusques ou aux chocs.

1.2. Propriétés électriques.

Conductibilité électrique : propriété que possèdent certains corps d'opposer au passage du courant électrique une résistance plus ou moins grande.

Résistivité électrique ρ : résistance opposée par un corps ayant l'unité de longueur et l'unité de section, au passage du courant.

Variation de la résistance avec la température (coefficient de température α).

1.3. Propriétés magnétiques.

Induction : coefficient de perméabilité. Saturation magnétique.

Pertes de puissance en W/kg dues aux pertes par hystérésis et courants de Foucault. Aimantation rémanente.

2. MATÉRIAUX CONDUCTEURS USUELS : résistivité assez faible

Matériaux	Propriétés						
	d	*t* °C	Aspect	R_r daN/mm²	ρ Ω mm²/m	α	*Emplois*
Cuivre	8,9	1 090	Rouge	24 à 45	0,016	0,0039	Appareillage, conducteurs.
Bronze	8,5	900	Jaune foncé	50 à 70	0,017 à 0,02	0,002	Appareillage, lignes aériennes.
Laiton	8,4	940	Jaune clair	42	0,083	0,001	Pièces d'appareillage.
Aluminium	2,7	658	Blanc	17 à 25	0,028	0,04	Lignes à HT, condensateurs, appareillage.
Almélec	2,7	650	Blanc	35	0,032	0,0036	Canalisations aériennes.
Argent	10,5	960	Blanc	16	0,015	0,0039	Fusibles, contacts, revêtements inoxydables.
Étain	7,3	232	Gris foncé	8	0,11	0,0044	Soudures. Alliages de fusibles.
Plomb	11,4	327	Gris foncé	3	0,19	0,0042	Canalisations protégées.
Zinc	7,2	419	Gris foncé	6	0,057	0,004	Alliages. Parafoudre à cornes.

3. MATÉRIAUX RÉSISTANTS

Alliages de résistivité comprise entre 0,02 et 10 Ω mm²/m, température de fonctionnement élevée.

Matériaux	Composition	Propriétés						Emplois
		d	t °C Fusion	t °C Utilisation	R_t	ρ Ω mm²/m	α	
Maillechort	Cu : 0,60 + Ni : 0,15 + Zn : 0,25	8,6	1 290	400	45	0,30	0,00036	R. non chauffantes (rhéostats).
Constantan	Cu : 0,60 + Ni : 0,40	8,4	1 240	400	32	0,49	0,00001	R. fixes (étalons de mesure).
Ferronickel	Fe : 0,74 + Ni : 0,25 + Cr : 0,001	8,1	1 500	500	75	0,80	0,0009	R. et rhéostats.
RNC 1	Ni : 0,40 + Fe : 0,50 + Cr : 0,10	8,0	1 450	900	65 à 70	1	0,00032	R. chauffantes (fer à repasser etc.).
RNC 2	Ni : 0,60 + Fe : 0,25 + Cr : 0,15	8,2	1 450	900	70 à 75	1,10	0,00012	— d° —
RNC 3	Ni : 0,80 + Cr : 0,20	8,4	1 475	1 100		0,98	0,00005	R. chauffantes devant atteindre 1 100 °C.
Charbon des cornues						60	0,0004	Électrodes pour fours et lampes à arc. Balais.

4. MATÉRIAUX ISOLANTS

Mauvaise conductibilité électrique, résistivité élevée (plusieurs M Ω mm²/m).
Les isolants sont des *diélectriques :* corps s'opposant au passage du courant.
Gradient de potentiel : chute de tension par unité de longueur (épaisseur de l'isolant).
Rigidité diélectrique : propriété d'un isolant de s'opposer à la décharge disruptive (décharge brusque qui se produit lorsque la d. d. p. entre deux conducteurs dépasse une certaine limite).
C'est le gradient maximum que peut supporter un isolant sans dommage ou sans diminution de ses propriétés isolantes.
Résistance aux températures élevées, à l'humidité.

Désignation des isolants	Constitution Provenance	Caractéristiques	Formes commerciales Emplois
	MINÉRAUX.		
Amiante.	Silicate de chaux et de magnésie.	Mauvais conducteur de la chaleur, résiste aux températures élevées. Hygrométrique.	Planche, tissus, ficelle. Supports de résistances. Aggloméré avec le ciment.
Fibro-ciment.	Aggloméré de fibres d'amiante et de ciment.	Résiste aux intempéries Incombustible.	Planche. Caniveaux, cloisonnements des appareils à H.T. (pare-étincelles.)
Mica.	A l'état naturel : pierres très dures et brillantes se clivant facilement (se divisant en feuilles minces).	Résiste aux fortes températures. Pour de grandes épaisseurs, on assemble les feuilles à l'aide d'un liant.	Feuilles minces. Supports de résistances chauffantes, isolation des collecteurs.
Isolants à base de mica Micanite, Micafolium, etc.	Paillettes de mica. Agglomérés avec de la gomme laque ou d'autres vernis.	Résistent aux températures élevées.	Feuilles rigides ou flexibles, tissus isolants, objets moulés. Isolateurs moulés. Cônes pour collecteurs. Enrubannage de conducteurs devant résister à la chaleur.

E. 61 — I - MATÉRIAUX

Désignation des isolants	Constitution Provenance	Caractéristiques	Formes commerciales Emplois
Porcelaine.	Cuisson d'un mélange d'argile, de kaolin et de quartz.	Poreuse mais rendue imperméable en la recouvrant d'un émail vitrifié à haute température.	Pièces moulées. Bougies d'allumage. Supports de résistances chauffantes. Isolateurs de lignes.
Stéatite.	Silicate naturel de magnésie.	Matière plus solide que la porcelaine. Se moule facilement. Propriétés électriques et mécaniques remarquables en haute fréquence.	Pièces moulées. Supports de fils résistants.
Verre.	Fusion de sable siliceux très fin mélangé de potasse ou de soude.	Grande résistance mécanique, tout en étant cassant.	Pièces moulées. Fils très fins dits : fibres ou laines de verre (isolation). Isolateurs de lignes. Bacs d'accumulateurs. Ampoules de lampes.
		MATIÈRES ORGANIQUES SOLIDES	
Caoutchouc.	Sève ou latex de végétaux (hévéa des régions tropicales).	S'altère à l'air vers 70 °C, fond vers 150 °C, est cassant au-dessous de − 5 °C, se soude à lui-même, se dissout dans les huiles.	Produit brut, transformé pour les emplois suivants : bandes isolantes, isolation des conducteurs électriques, tapis isolants, gants protecteurs.
Caoutchouc vulcanisé.	Incorporation de 2 % à 5 % de soufre au caoutchouc brut.	Résiste aux variations de la température, est élastique, ne se soude pas à lui-même. Se ramollit vers 180 °C.	
Bois.	Arbres de différentes espèces.	Dans leur état naturel, grand pourcentage d'eau. Défaut corrigé en imprégnant le bois d'un isolant (paraffine, bakélite, etc.). « Permali ».	Planches. Barrettes de liaison des couteaux d'interrupteurs, tableaux B.T., poteaux pour canalisations aériennes.
Fibre.	Aggloméré de fine sciure de bois, traitée avec du caoutchouc et mélangée avec du sang de bœuf, comprimée à chaud sous pression.	Hygrométrique. On remédie à cet inconvénient en la vulcanisant.	Planches tubes, cylindres. Supports d'appareillage. Cloisons isolantes.
Papier (Manille, Japon).	Essentiellement cellulose.	Poreux et absorbe l'humidité. Amélioration par imprégnation d'huile ou de vernis isolant.	Feuilles, rouleaux. Isolation des conducteurs électriques TBT et HT, des enroulements de machines, des condensateurs.
Soie de verre nylon.	Soie synthetique.	Insensible à l'humidité, résiste à des températures plus élevées que le coton.	Fils. Guipage de bobinage, enrubannage bobines, calorifuge.
Papier carton — presspahn — leathéroïd	Fabriqué avec des fibres de bois.		Feuilles de carton fort. Isolation du petit appareillage électrique, des encoches.
Papier, carton et toile bakélisés.	Feuilles de papiers ou tissus imprégnés de bakélite.		Tubes, plaques, moulages. Isolation.
Soie.	— naturelle (cocons de certains vers). — artificielle ou rayonne.		Rubans, fils, recouvrement isolants.
Toile.	Tissu fabriqué avec les fibres de certaines plantes textiles (lin, chanvre).		Rubans (jaconas, sergé), tresses. Protection et isolation des têtes de bobine.
Toile huilée.	Toile traitée à chaud dans des autoclaves, par l'huile de paraffine.		Bandes, pièces, rouleaux, rubans, tresses (souplisso). Isolation d'encoches, galettes de transformateurs H.T.
Coton.	Cellulose presque pure provenant d'arbrisseaux cultivés dans les régions chaudes.		Rubans (jaconas, fils). Isolation des conducteurs et des enroulements de machines.

Désignation des isolants	Constitution Provenance	Caractéristiques	Formes commerciales Emplois
MATIÈRES ORGANIQUES SOLUBLES OU LIQUIDES			
Bakélite. Bakélite A.	Résines synthétique à base de phénol. Produite par un chauffage d'environ 50 °C	Soluble dans les alcools. Liquide ou pâteuse.	Fabrication des vernis.
Bakélite B.	Obtenue par chauffage à 110 °C de la bakélite A.	Solide, friable, insoluble dans les solvants usuels.	Peu utilisée.
Bakélite C.	Obtenue par chauffage de la bakélite B vers 180 °C.	Insoluble, stable, dure, inaltérable aux agents chimiques.	Imprégnation sous pression, des bobinages. Isolation des fils de bobines (fils émaillés). Appareils ou accessoires en matière moulée.
Bitumes.	Distillation des asphaltes naturels, (corps minéraux additionnés de soufre).	Imperméables.	Remplissage des boîtes de jonction et de dérivation des câbles armés, fermeture des bacs d'accumulateurs.
Brais.	Résidus provenant de la distillation de pétroles, de houilles et de goudrons de bois.	— d° —	— d° —
Gomme-laque.	Résine tirée de certains arbres d'Extrême-Orient.	Soluble dans l'alcool. Fond à une température élevée. Liquide ou en paillettes.	Imprégnation des bobinages.
Huiles.	Extraites des pétroles bruts.	Doivent résister à l'action de la chaleur, être dépourvues d'humidité, avoir un point d'inflammabilité élevé.	Refroidissement des bobinages (cuves de transformateurs, d'interrupteurs). Étouffement de l'arc de rupture dans les interrupteurs et disjoncteurs. Imprégnation des couches de papier isolant (câbles).
Compounds.	Mélanges d'asphaltes, de bitume, de brai, de résine.	Très bons isolants. Imperméables. Faciles à fondre.	Employés en grandes masses pour protéger les jonctions et branchements sur les câbles souterrains isolés au papier.
Gazeux.	Air. Gaz. Vapeurs.	Rigidité diélectrique dépendant, en partie, de la pression et de la température du gaz. Deviennent conducteurs lorsqu'ils sont ionisés.	Azote : refroidissement des alternateurs puissants. Argon : remplissage des ampoules de lampes à incandescence, tubes fluorescents. Néon : enseignes lumineuses.

Les isolants peuvent se classer :

d'après leur origine.

- **Solides** : organiques ou inorganiques (naturels synthétiques, mixtes).
- **Liquides.**
- **Gazeux.**

d'après les possibilités d'emploi.

- **Rigidité électrique** : isolants utilisables en B.T.-M.T.-H.T.
- **Résistance thermique** : à basse, moyenne ou haute température.
- **Hygroscopicité** : emploi dans des locaux secs ou humides.
- **Résistance aux influences chimiques** : vapeurs corrosives, etc.
- **Pertes diélectriques** : emploi en basse ou haute fréquence.

5. MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Désignation des matériaux	Caractéristiques	Emplois
Fonte (grise et malléable)	N'admet que des inductions très faibles. Se sature vers 1 T. Faible coefficient de perméabilité.	Fabrication des carcasses et noyaux de machines de faible puissance. Culasses de gros alternateurs.
Acier coulé	Très perméable aux inductions élevées. Saturation : vers 2 T.	Carcasse de machines. Noyaux polaires coulés d'une seule pièce avec la culasse.
Tôles d'acier doux recuites	L'emploi du silicium (environ 2 %) permet de réduire les pertes d'énergie par hystérésis et courants de Foucault.	Circuit magnétique des machines ou appareils soumis à des courants alternatifs. La qualité des tôles va de 1 à 3,6 W/kg pour B = 1 T.
Alliages ferromagnétiques.	Alliages fortement magnétiques. Acier au cobalt-tungstène. Acier au nickel-aluminium-titane. Valeur élevée de saturation magnétique pour de faibles forces magnétisantes et de faibles pertes par hystérésis.	Aimants permanents pour appareils de mesure électrique, relais, amplificateurs magnétiques, etc.
Matériaux non magnétiques	Acier au manganèse (13 %). Acier au nickel (8 %) chrome (18 %).	Frettage d'induits. Cale de fermeture des encoches d'enroulement.

6. MATÉRIAUX DIVERS

Plâtre. Calcination de la pierre à plâtre (sulfate de calcium).

Gâché (mélangé) avec de l'eau, le plâtre *prend rapidement.*

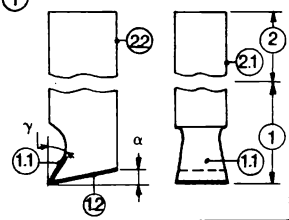
Il doit être conservé à l'abri de l'humidité de l'air sinon il s'évente et ne fait plus prise.

Ciment. Variété de chaux hydraulique obtenue par calcination, à température élevée, de calcaire argileux (ciment naturel) ou d'un mélange de calcaire et d'argile (ciment artificiel).
Gâché avec de l'eau, il *prend lentement.* Il s'évente moins rapidement que le plâtre.

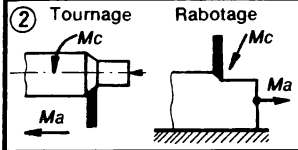
Mortier de ciment : mélange de ciment et de sable gâché avec de l'eau.

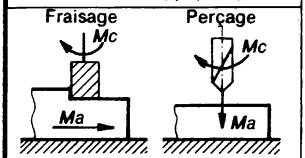
Béton : mélange de cailloux (ou de gravillons) et d'un mortier de ciment.

①



②





③ *Mc* tournant

$V = \pi D \cdot n$		
$\frac{m}{min}$	m	$\frac{tr}{min}$

D : diamètre
n : nombre de tours par minute

④ *Mc* rectiligne

$V = 2C \cdot n$		
$\frac{m}{min}$	m	$\frac{c}{min}$

C : course
n : nombre de coups par minute

⑤

$A = a \cdot n$		
$\frac{mm}{min}$	$\frac{mm}{tr}$	$\frac{tr}{min}$

a : avance par tour ou par coup
n : nombre de tours par minute ou de coups par minute

7. PROCÉDÉS D'OBTENTION DES PIÈCES

7.1. **Fonderie.**

Coulée d'un métal en fusion dans un moule (en sable ou métallique).

7.2. **Déformation du métal.**

— **à chaud,** par forgeage sous l'action de chocs ou de pressions ;
— **à froid** (métaux en feuilles), sous l'action de chocs ou de pressions, à la main ou mécaniquement (emboutissage, découpage et poinçonnage, cintrage, pliage).

7.3. **Assemblage.**

— **permanent** : agrafage, rivetage, soudage ;
— **démontable** : vissage avec vis, boulons, écrous.

7.4. **Usinage.**

Enlèvement de matière à froid, au moyen d'outils produisant des copeaux (de la limaille au ruban).

8. TRAVAIL DES MATÉRIAUX

8.1. **Outils.**

Constitution générale (fig. 1) : *(1)* Partie active ; *(1-1)* Surface d'attaque ; *(1-2)* Surface en dépouille ; *(1-3)* Arête tranchante.
(2) Corps (prismatique ou cylindrique) ; *(2-1)* Surface de référence adjacente ; *(2-2)* Surface de base.
Angle de coupe (10° acier dur, 20° fonte, 30° acier doux, 40° aluminium).
Angle de dépouille (6° pour outils en acier rapide, 4° pour les outils au carbure).

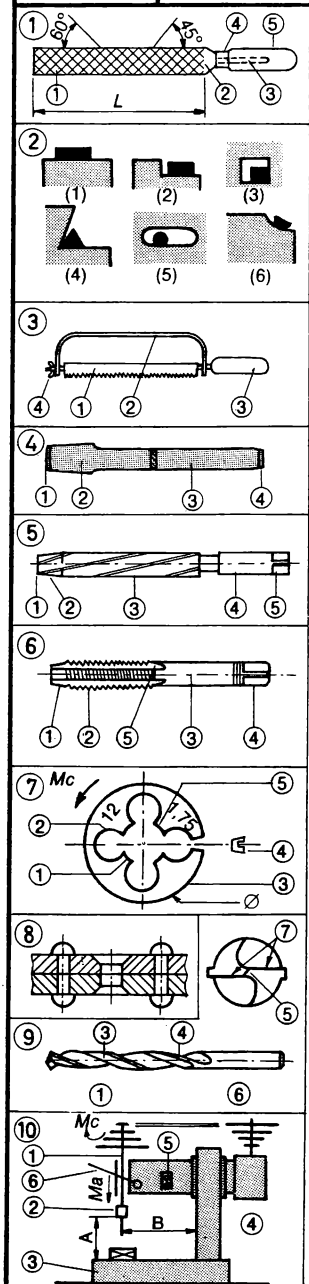
Les outils doivent :
— être durs et résister à l'échauffement : aciers au carbone trempés, aciers rapides, carbures métalliques, céramiques de coupe, diamants industriels. On rapporte des plaquettes d'acier rapide ou de carbure *(mise ou grain)* à l'extrémité du corps d'outil ;
— posséder les angles d'affûtages voulus ;
— être rigides et fixés solidement sur leurs supports.

8.2. **Éléments de coupe** (fig. 2).

— **Mouvement de coupe** *(M_c)*. Vitesse *V* en m/min (formules 3 et 4). Elle dépend de la nature du matériau coupé et du matériau coupant, de la grosseur du copeau et du temps prévu entre deux affûtages successifs.
— **Mouvement d'avance** *(M_a)*. Avance *A* en mm/min (formule 5). Elle dépend de l'état de surface désiré (de 0,1 à 2 mm par tour ou par coup).
— **Mouvement de pénétration** *(M_p)*. Pénétration ou serrage par passe : *p*.

Défauts de coupe : broutement par flexion et vibration du système outil-pièce, marquage par raproduction.

Arrosage. Accroît *V* de 25 % : un fluide lubrifiant réduit le frottement, un fluide réfrigérant évite l'échauffement.



8.3. **Opérations manuelles et mécaniques.**

Traçage à plat. Limite les surépaisseurs pour guider l'usinage d'une pièce.
Outillage : pointes à tracer, trusquin, compas, crayon (pour alliages légers), pointeau, marbre, règles, équerres, vés, etc.

Limage. Finition de certains travaux délicats : dressage d'une face, profil d'un contour.
Limes (fig. 1) : *(1)* Face (à deux tailles, trempée) avec champ (une taille, trempée) ; *(2)* Talons ; *(3)* Scie (non trempée) ; *(4)* Virole ; *(5)* Manche.
Section (fig. 2) : *(1)* Plate ; *(2)* Pilier ; *(3)* Carrée ; *(4)* Triangulaire ; *(5)* Ronde ; *(6)* Demi-ronde.
Denture : rude (6 à 8 dents/cm), bâtarde (8 à 10), demi-douce (10 à 12), douce (12 à 16).

Sciage. Sectionnement partiel ou complet des pièces : coupe, détourage des fentes, etc.
Scies à main (fig. 3) : *(1)* Lame ; *(2)* Monture ; *(3)* Manche ; *(4)* Écrou de tension.
Denture : ondulée, alternée. Grosseur des dents ou nombre de dents au cm (de 6 à 13).

Burinage. Pour ébauche et ébarbage.
Burins (fig. 4) : *(1)* Arête tranchante ; *(2)* Partie active ; *(3)* Corps ; *(4)* Tête.

Alésage. Calibrage de trous cylindriques.
Alésoirs (fig. 5) : *(1)* Chanfrein ; *(2)* Entrée ; *(3)* Corps ; *(4)* Dégagement ; *(5)* Queue (cylindrique, conique, carrée).

Taraudage. Réalisation d'un filet de vis à l'intérieur d'un trou cylindrique.
Tarauds (fig. 6) : *(1)* Entrée (coupe) ; *(2)* Guidage (réserve d'affûtage) ; *(3)* Queue ; *(4)* Carré (entraînement) ; *(5)* Goujure (sortie copeaux).

Filetage. Pour filet de vis extérieur. Filières fixe et variable. Porte-filières.
Filière ronde (fig. 7) : *(1)* Peigne ; *(2)* Dégagement ; *(3)* Rainure ; *(4)* Vis de réglage ; *(5)* Face d'attaque.

Rivetage. Assemblage définitif de deux ou plusieurs pièces (fig. 8).

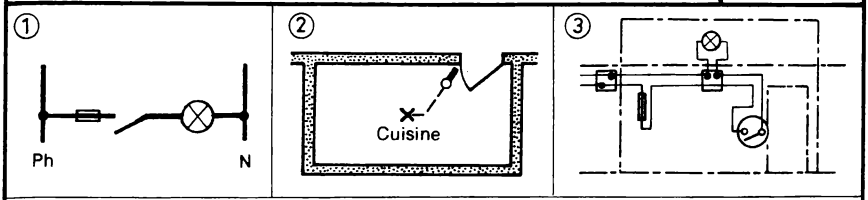
Cambrage. Pliage d'une tôle (ou flan).

Soudage. Assemblage permanent à contact parfait (conductibilité et étanchéité).
— Étamage : couche d'étain sur une pièce.
— Soudage à l'étain (à basse température).
— Brasage : utilisation de brasure portée à fusion.
— Soudage autogène : fusion des bords de pièces, avec ou sans addition de métal homogène.
— Utilisation de fer à souder, pistolet, lampe.

Perçage. Usinage des trous cylindriques ou de forme au moyen d'un foret (fig. 9) ou de fraises (lamages et chambrages).
(1) Partie active (taillée en hélice) ; *(2)* Pointe (coupe 116 à 140°) ; *(3)* Goujures (évacuation copeaux) ; *(4)* Listel (guidage) ; *(5)* Ame ; *(6)* Queue (conique ou cylindrique) ; *(7)* Lèvres.
Machine sensitive (fig. 10) : *(1)* Broche ; *(2)* Porte foret ; *(3)* Porte pièce ; *(4)* Moteur ; *(5)* Commande du *Mc* ; *(6)* Commande du *Ma*.

II-REPRÉSENTATION GRAPHIQUE
des installations.

E. 66



Des recommandations et des normes définissent ou préconisent les règles, les symboles graphiques ainsi que les repères qui doivent être utilisés pour repérer les appareils, concevoir les schémas et réaliser les équipements électriques. Ces règles conduisent à une standardisation qui répond aux tendances actuelles de normalisation, tend à internationaliser une symbolisation de représentation et de repérage, facilite la mise en service et la maintenance, élimine les risques de confusion.

1. Symboles graphiques.

Chaque élément d'une installation est représenté par un symbole qui doit être rigoureusement conforme aux règles adoptées. Le tableau E. 67 représente les principaux symboles graphiques reflétant les dernières tendances de symbolisation recommandées par la Commission Électrotechnique Internationale (C. E. I) et l'Union Technique de l'Électricité (U. T. E.).

2. Classification des schémas.

Un schéma précise les relations mutuelles des différentes parties d'une installation et les moyens de liaison (symboles, figures, repères).

- **Schémas explicatifs :** facilitent l'étude et la compréhension du fonctionnement d'une installation. Tous les organes, conducteurs et conditions d'interdépendance sont représentés.

- **Schéma fonctionnel :** des symboles ou des figures simples représentent les installations avec leur dépendance ; les liaisons matérielles ne sont pas représentées.

- **Schéma des circuits :** toutes les liaisons matérielles et les connexions électriques sont représentées.

- **Schéma architectural :** architecture des locaux avec emplacements approximatifs des matériels et de leur dépendance.

- **Schémas de réalisation :** guident la réalisation et la vérification des connexions.

- **Schéma des connexions intérieures :** intérieur d'une partie d'installation.

- **Schéma des connexions extérieures :** relation entre les dispositifs de raccordement de parties d'installations différentes.

- **Schéma de raccordement aux bornes :** bornes et conducteurs qui les réunissent.

- **Schémas mixtes :** utilisation de plusieurs des catégories précédentes.

3. Modes de représentation.

multifilaire : chaque élément est représenté par un symbole distinct ; chaque conducteur fait l'objet d'un symbole de liaison particulier (trait).

— simplifiée :

- *unifilaire :* plusieurs conducteurs reliant les bornes équivalentes d'appareils semblables sont figurés par un symbole de liaison unique (trait barré par des traits obliques dont le nombre correspond à celui des conducteurs).
- *par faisceau :* un trait unique représente l'ensemble de plusieurs conducteurs.

Disposition des symboles.

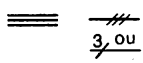
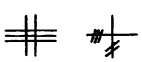
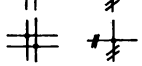
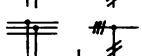
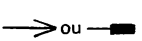
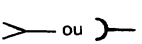
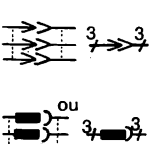
- **Représentation assemblée :** symboles tracés sur le schéma au voisinage les uns des autres.

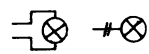
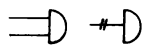
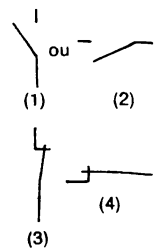
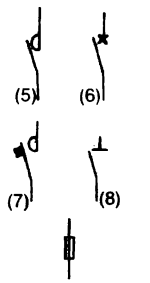
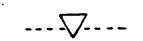
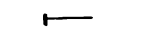
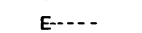
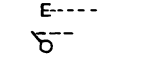
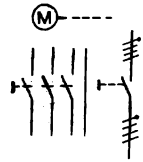
- **Représentation développée :** symboles séparés et étalés de façon que le tracé de chaque circuit se rapproche le plus possible d'une droite.

4. Exemple de représentation graphique :

Une lampe commandée d'un point.
Fig. 1 : représentation développée.
Fig. 2 : schéma architectural.
Fig. 3 : schéma multifilaire des connexions extérieures, vue de face. Les parties en plafond ou sur cloison sont rabattues.

E. 67 II-REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

Désignation	Représentation multi-filaire	Représentation uni-filaire
1. Nature des courants, connecteurs, bornes et connexions		
Courant alternatif		
Courant continu		
Courant ondulé ou redressé		
Conducteur : circuit principal		
Conducteur : circuit auxiliaire		
Exemple : canalisation à trois conducteurs		
Conducteur neutre		
Conducteur de protection		
Croisement des conducteurs :		
— sans connexion		
— avec connexion		
Dérivation de conducteurs		
Mise à la terre		
Mise à la masse		
Borne de raccordement		
Fiche de prise de courant (mâle)		
Prise de courant (femelle)		
Exemple : fiche et prise tripolaires		
Nota. De nouvelles normes sont à l'étude pour les représentations architecturales.		

Désignation	Représentation multi-filaire	Représentation uni-filaire
2. Appareil d'éclairage et de signalisation		
Lampe d'éclairage ou de signalisation (cercle plus petit)		
Sonnerie		
3. Contacts		
Ils doivent être représentés au repos le déplacement de l'élément mobile pouvant s'effectuer dans n'importe quel sens. Néanmoins, sur un schéma, il est recommandé d'utiliser un même sens. La C.E.I. préconise « gauche vers droite » et « bas en haut ». Contact « fermeture » ou de travail (1) ou (2). Contact « ouverture » ou de repos (3) ou (4). Le cercle peut être supprimé s'il n'y a pas risque de confusion.		
4. Appareillage		
Interrupteur (1) ou (2) Contacteur (5) Disjoncteur (6) Discontacteur (7) Sectionneur (8)		
Fusible		
5. Commandes mécaniques		
Liaison mécanique		
Verrouillage mécanique		
Commande mécanique manuelle :		
— par poussoir (retour automatique)		
— par levier		
— par moteur électrique		
Exemple : interrupteur tripolaire sur canalisation à conducteur neutre non interrompu (commande mécanique manuelle)		

III - TERMES CARACTÉRISTIQUES du matériel (1)

E. 68

Termes caractéristiques et termes relatifs aux régimes de fonctionnement des matériels.

Conditions de fonctionnement : facteurs extérieurs (altitude, température de l'air ambiant, variation de tension, etc.) qui peuvent influencer le fonctionnement d'un matériel.

Courant de court-circuit : surintensité produite par un défaut d'impédance négligeable entre des points présentant une d. d. p. en service normal.

Courant de surcharge : surintensité se produisant dans un circuit électriquement sain.

Échauffement : écart entre la température en un point considéré et celle du milieu de référence.

Essais :

— *de qualification* (ou d'homologation) : ensemble des essais effectués sur un seul matériel, ou sur plusieurs d'un même modèle, en vue de s'assurer qu'il répond à l'ensemble des conditions d'établissement et de fonctionnement spécifiées :

- de type : un des essais de qualification effectué sur un seul matériel ou un petit nombre de même type ;
- individuels : essais effectués sur tout le matériel d'une même fourniture ;
- de prélèvement : essais effectués sur un prélèvement de fourniture.

— *de réception* : ensemble des essais effectués devant un réceptionnaire en vue de la vérification de la qualité d'une fourniture.

Masse : partie conductrice susceptible d'être touchée et normalement isolée des parties actives, mais pouvant être mise accidentellement sous tension.

Les masses comprennent notamment les parties métalliques accessibles des matériels électriques (séparées des parties actives par une isolation principale seulement) et les éléments métalliques en liaison électrique ou en contact avec la surface extérieure des matériels (séparée des parties actives par une isolation principale) qu'elle comporte ou non des parties métalliques.

Nominal.

Courant, tension et fréquence : valeurs qui figurent dans la désignation d'un matériel et d'après lesquelles sont déterminées les conditions d'essai, d'échauffement, de tension ou de fréquence limite de fonctionnement ou d'utilisation du matériel.

— *Régime* : ensemble des grandeurs attribuées par le constructeur à un matériel pour définir son fonctionnement dans des conditions spécifiées et indiquées sur la plaque signalétique.

Plaque signalétique : apposée sur un matériel spécifiant son service nominal et les valeurs des grandeurs de son régime nominal.

Régime : ensemble des grandeurs électriques et mécaniques caractérisant le fonctionnement d'un matériel ou d'un réseau, à tout instant donné.

Service : stipulation des régimes auxquels le matériel est soumis, de leurs durées respectives et de leur ordre de succession dans le temps.
— *type* : service conventionnel comportant un ou plusieurs régimes constants pendant des durées spécifiées ;
— *continu* : service permanent à régime constant ;
— *ininterrompu* : service permanent où des régimes divers se succèdent ;
— *temporaire* : service à régime constant pendant un temps déterminé, moindre que celui requis pour atteindre l'équilibre thermique en service permanent à ce régime, suivi d'un repos d'une durée suffisante pour rétablir l'égalité de température avec celle du milieu refroidissant ;
— *nominal* : celui des services types en vue duquel le matériel a été établi.

Surtension, surintensité : tension ou courant supérieurs aux valeurs nominales.

Température ambiante : température de l'air ambiant à l'emplacement où le matériel doit être installé.

Terre : masse conductrice de la terre, ou tout conducteur relié à elle par une impédance négligeable.

(1) d'après N. F. C 01-005 (Vocabulaire électrotechnique) et C 15-100 (Règles relatives aux installations à basse tension).

E. 69 IV - APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

Ensemble des appareils de manœuvre, de réglage, de sécurité, de contrôle, et des accessoires employés dans les installations électriques.

1. CLASSIFICATION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

1.1. d'après la fonction

Appareils de connexion, destinés à relier différentes portions de circuit en vue d'en effectuer : une jonction, une dérivation entre conducteurs d'une canalisation, ou un raccordement à un appareil.

Appareils d'établissement et d'interruption, destinés à fermer et ouvrir un circuit, ou à commuter plusieurs circuits.

Appareils de protection, destinés à protéger les installations principalement contre les effets d'une augmentation anormale du courant (surintensité, court-circuit), ou d'un manque de tension suivi d'un retour.

Appareils de réglage, destinés à régler entre certaines limites, soit un courant, soit une chute de tension dans un circuit.

Appareils de mesure et de comptage, destinés à mesurer des grandeurs électriques et à totaliser les mesures.

1.2. d'après la destination

Petit appareillage, utilisé dans les installations d'éclairage et d'applications domestiques, alimentés sous des tensions de 1re catégorie (intensités inférieures à 64 A).

Appareillage industriel à basse tension, alimenté sous une tension inférieure à 1 000 V en courant alternatif et 4 500 V en courant continu.

Appareillage à haute tension, alimenté en courant alternatif sous une tension égale ou supérieure à 1 000 V.

1.3. d'après l'adaptation à l'usage : distribution, usage courant, usage semi-intensif et intensif.

1.4. d'après le degré de protection contre les contacts accidentels.

Appareils non protégés ou ouverts : les pièces sous tension sont accessibles au toucher en service normal *(en principe, appareils de distribution).*

Appareils protégés : les pièces sous tension sont soustraites au contact involontaire des personnes par une pièce de recouvrement, métallique ou non.

Appareils fermés : complètement enfermés dans un boîtier (métallique ou non) rendant impossible l'introduction de corps étrangers pouvant établir un contact accidentel ou involontaire avec une pièce sous tension.

1.5. d'après la solidité des enveloppes : appareils à enveloppe ordinaire, renforcée ; appareils blindés métalliques.

1.6. d'après le degré de protection **contre les agents extérieurs.** Appareils : pour locaux secs, pour locaux humides, pour emploi à l'extérieur des bâtiments, protégés contre les poussières, protégés contre les jets d'eau, étanches à la lance, étanches à l'immersion, étanches aux vapeurs et aux gaz, antidéflagrants.

1.7. d'après le nombre de pôles : unipolaires, multipolaires (bipolaires, tripolaires, tétrapolaires).

1.8. d'après le mode de commande :

— **non automatique :** commande effectuée par une manœuvre volontaire.

— **automatique :** commande se produisant automatiquement dans des conditions prédéterminées.

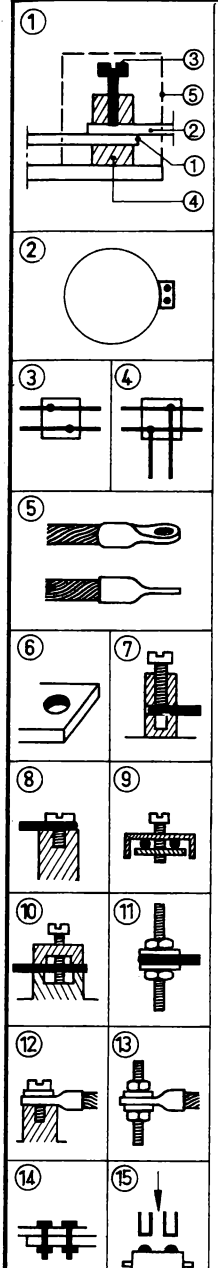
1.9. d'après les possibilités de déplacements, appareils :

— **mobile :** déplacé pendant son fonctionnement, ou facilement déplacé lorsqu'il est relié au circuit d'alimentation ;

— **portatif** (à main) : mobile, prévu pour être tenu à la main en usage normal ;

— **fixe :** installé à poste fixe, ou ne pouvant être déplacé facilement ;

— **installé à poste fixe :** scellé ou fixé d'une autre manière à un endroit précis.



Classification des appareils (suite).

En outre on définit les appareils par les caractéristiques suivantes qui ont trait aux circuits principaux :

Tension nominale. Courant nominal. Nature du courant et, s'il y a lieu, **fréquence.**
Fréquence nominale : fréquence d'après laquelle sont déterminées les conditions d'échauffement et de fonctionnement du circuit ; en principe 50 Hz.
Nature du courant : courant alternatif ou continu, courant alternatif et continu.

Pouvoir de coupure et de fermeture. Courant maximum qu'un appareil peut couper (ou établir) sous une tension donnée, dans des conditions d'emploi déterminées, sans détériorations ni manipulations extérieures excessives.

2. APPAREILS DE CONNEXION

2.1. **Constitution générale** (fig. 1) :

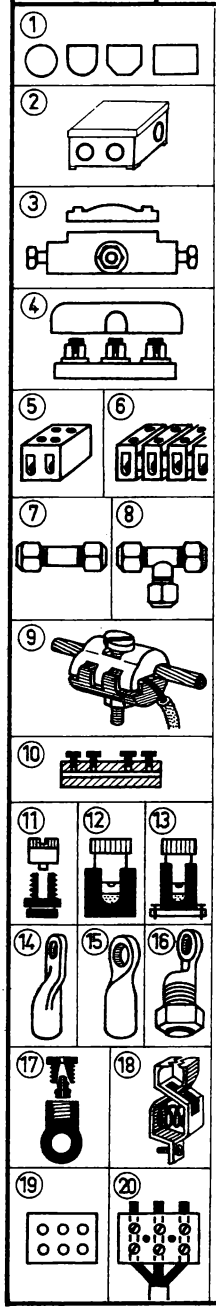
(1) Pièce conductrice du matériel ou conducteur d'une canalisation ; *(2)* Conducteur à raccorder ; *(3)* Organe de serrage ; *(4)* Support ; *(5)* Organe de protection contre le toucher.

2.2. **Classification générale.**

d'après le mode de serrage.
— Bornes de connexion. Liaison entre un ou plusieurs conducteurs à un matéreil ou à une machine. Généralement elles font partie du matériel (fig. 2).
— Appareils de jonction, de dérivation (boîtes de raccordement). Dispositif de raccordement entre conducteurs : en prolongement (fig. 3), en dérivation (fig. 4).
— Douille. Appareil raccordant électriquement une lampe d'éclairage (mobile) à une canalisation (fixe ou mobile).

d'après les conducteurs qu'ils sont destinés à recevoir.
— Fils de section circulaire ou câbles, par simple serrage.
— Fils ou câbles munis d'attaches de câbles ou de cosses, conducteurs méplats (barres) (fig. 5).
— Conducteurs méplats (barres) uniquement (fig. 6).

d'après le mode de raccordement.
— Simple serrage :
A trou avec vis de serrage (fig. 7).
A serrage sous tête de vis (fig. 8).
Sous plaquette (fig. 9).
Entre machoires (fig. 10).
Par tige filetée et écrous (fig. 11).
L'extrémité du conducteur peut être pliée, coudée ou roulée en forme d'œil.
Les brins du conducteur peuvent être solidarisés (soudure, par exemple).
— Par attache ou cosse : A serrage sous tête de vis (fig. 12), par tige filetée et écrous (fig. 13).
— Par boulons et écrous : Conducteurs méplats (fig. 14).
— Par pression simplement (fig. 15).



2.3. **Appareils de jonction et dérivation** (installations électriques d'éclairage et d'applications domestiques).

Boîtes de dérivation pour conducteurs :

- porcelaine (ou matière moulée) à entrées ouvertes ou défonçables (amorcées sur la périphérie) (fig. 1 et 2), bipolaire et tripolaire ;
- fonte à une ou plusieurs tubulures, pour tube acier (ronde, carrée, rectangulaire) ;
- matière moulée, pour câbles protégés, avec bornes intérieures et presse-étoupe (fig. 3) ;
- pour équipement de locaux industriels :
  — en tôle, couvercle avec empreintes défonçables (fig. 4) ;
  — en fonte, conçues pour recevoir sur les parois des brides taraudées.

Blocs de raccordement (barrettes de connexions) (fig. 5).
Ils comprennent : un ou plusieurs fourreaux en laiton avec vis de serrage aux extrémités, un bloc isolateur en matière moulée.
Ils peuvent être unipolaires, bipolaires, tripolaires ; avec ou sans trou de fixation.
Fig. 6 : barrette de blocs détachables, en chlorure de polyvinyle souple.

Serre-câbles.

- de jonction à serrage concentrique (fig. 7) ;
- d'empattement (fig. 8) ;
- universel à griffes (fig. 9) ;
- serre-fils cylindriques en laiton décapé (fig. 10).

Bornes unipolaires à serrage par coincement, utilisées pour les boîtes de dérivation dépourvues de bornes.

- Bornes non isolées (fig. 11).
- Bornes isolées : avec (fig. 12) ou sans (fig. 13) pattes de fixation.

Plaques à bornes en bakélite.

Bornes montées sur barette en matière isolante *(ferrettite)* avec cloisons séparatrices.

Rosaces à plots (2, 3 ou 4), pour boîtes de dérivation en porcelaine ou en bakélite.

Distributeurs à plots pour branchements (colonne montante, par exemple) sous coffret bois ou métallique à 2, 3, 4 ou 5 fils.

Cosses :

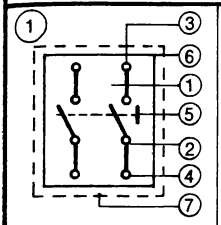
- à souder : estampées (fig. 14), en laiton fondu (fig. 15) ;
- à serrage concentrique (fig. 16) ;
- à coincement conique (fig. 17).

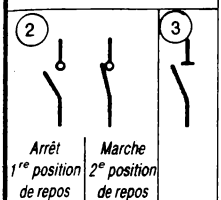
Pinces pour connexions temporaires (fig. 18).

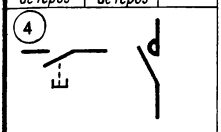
2.4. **Appareils de raccordement utilisés sur les appareils ou les machines.**

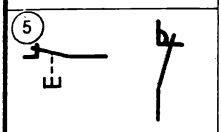
Plaque à bornes (fig. 19).

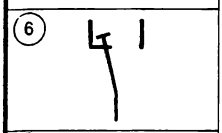
Connecteur (fig. 20).

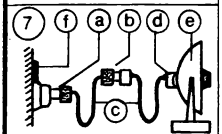


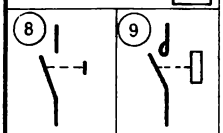


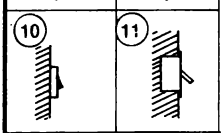


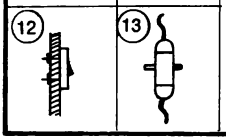












3. APPAREILS DE JONCTION

Pour établir et interrompre les circuits.

3.1. **Constitution générale des appareils** (fig. 1).

(1) Pièces de contact mobile : couteaux ;
(2) Pièces de contact fixe : mâchoires ;
(3) Organe de liaison électrique avec la source d'alimentation : bornes ;
(4) Organe de liaison électrique avec l'appareil d'utilisation : bornes ;
(5) Mécanisme de commande des organes mobiles ;
(6) Socle supportant les organes *(1)* à *(4)*, éventuellement *(7)* ;
(7) Protection contre le toucher.

3.2. **Classification générale d'après la fonction.**

Interrupteur (fig. 2) : appareil destiné à déterminer à volonté l'ouverture ou la fermeture d'un circuit. Il a deux positions mécaniques de repos : marche et arrêt. Si l'appareil est dénué de pouvoir de coupure, c'est un *sectionneur.* (fig. 3).

Contacteur (fig. 4) : fonction identique à celle de l'interrupteur, mais les éléments mobiles de contact n'ont qu'une position mécanique de repos correspondant à l'ouverture du circuit.
Dès qu'on cesse d'agir (manuellement ou automatiquement) sur les éléments mobiles (sens de la flèche), l'appareil revient à sa position de repos (ouverture).

Rupteur (fig. 5) : fonction identique à celle de l'interrupteur, mais les éléments mobiles de contact n'ont qu'une position mécanique de repos correspondant à la fermeture du circuit.
Dès qu'on cesse d'agir (manuellement ou automatiquement) sur les éléments mobiles (sens de la flèche), l'appareil revient à sa position de repos (fermeture).

Commutateur (fig. 6) : appareil destiné à substituer une portion de circuit à une autre ou encore à modifier successivement les connexions d'un ou plusieurs circuits. Si l'appareil est dénué de pouvoir de coupure, c'est un *commutateur-sectionneur.*

Prise de courant (fig. 7 a) : ensemble d'organes destinés à relier un récepteur (ou un élément d'installation) mobile à une canalisation fixe (fig. 7 f).
Le *prolongateur* (fig. 7 b) relie deux canalisations mobiles (fig. 7 c).
Le *connecteur* (fig. 7 d) relie une canalisation et un récepteur mobiles (fig. 7 e).

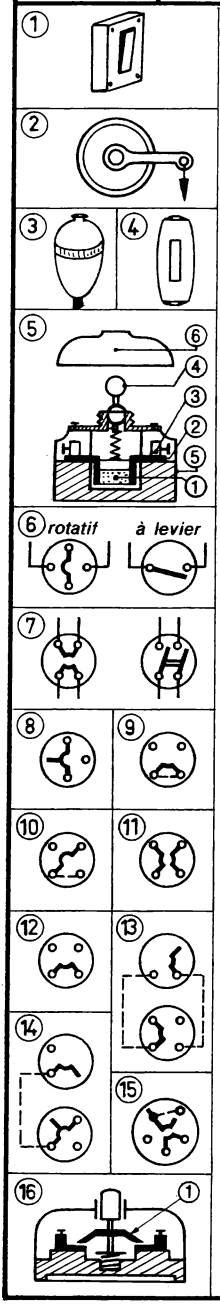
3.3. **Classification d'après le mode de commande.**

— par une action manuelle directe ou à distance (fig. 8).
— par une action non manuelle, automatique ou non automatique (électrique, pneumatique, etc.) (fig. 9).

3.4. **Appareillage utilisé dans les installations d'éclairage et d'application domestique,** alimentées sous des tensions de première catégorie ($I \leq 64$ A).

Classification des appareils d'après leur mode de pose.

- En saillie ou semi-encastré (fig. 10).
- Encastrés (fig. 11).
- A prises arrière (tiges filetées et écrous) (fig. 12).
- Pour fils souples (fig. 13).



Classification d'après le mode de commande.

- Rotatif, à entrée de fils ou tube.
- A levier (fig. 1).
- A tirage pour salles de bains (fig. 2).
- « Poire », employée avec des fils souples dans les installations fixes (fig. 3).
- « Olive », ou interrupteur pour fils souples (lampes portatives fig. 4).

Classification d'après la construction.

- Ordinaire, tout porcelaine, à une entrée.
- Étanche en fonte, ou en matière moulée.
- Types bloc, en porcelaine ou en matière moulée.

Classification d'après la fonction remplie(1).

- **Interrupteurs** (fig. 5). *(1)* Couteaux mobiles. Mécanisme pour coupure brusque du courant afin de réduire la durée de l'étincelle de rupture (conservation des contacts) ; emploi d'un ressort tendu par la manœuvre manuelle de l'organe de commande *(4)* ;

(2) Mâchoires fixes ;

(3) Bornes à trou ou fendues ; serrage sous tête de vis, sous extrémité de vis (pointeau), par tiges filetées et écrous, sur plaquette, entre mâchoires ;

(4) Organe de commande de *(1)* : clé, manette, levier, bouton ;

(5) Socle : avec trous de fixation de l'appareil : passage des conducteurs au moyen d'un voile défonçable (tube acier, tôle...) ou en utilisant une patère ;

(6) Couvercle vissé sur *(5)* : assure une protection contre tout contact fortuit des personnes ou du matériel avec les pièces sous tension.

Calibres normalisés : 5-10-25 et 64 A, tension nominale.

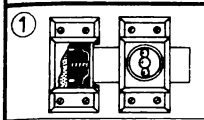
Les interrupteurs peuvent être : 1° unipolaires (fig. 6) pour une puissance inférieure à 500 W et une tension inférieure à 250 V ; 2° bipolaires (fig. 7).

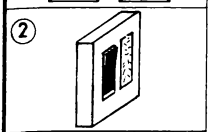
	Commutateur	Réf.
Fig. 8.	à deux directions pour simple et double allumage.	**5**
Fig. 9.	à deux directions avec arrêt.	**4**
Fig. 10.	à deux directions sans arrêt.	**6**
Fig. 11.	Inverseur.	**7**
Fig. 12.	pour chambre d'hôtel (de deux points différents, on peut établir ou interrompre deux circuits).	**12**
Fig. 13.	à deux directions séparées et marche en série.	**8**
Fig. 14.	pour deux circuits en série, en parallèle, ou un seul circuit.	**9**
Fig. 15.	pour deux circuits en série, en parallèle, ou deux circuits séparés. Les commutateurs réf. 8, 9, 10 sont surtout utilisés dans les appareils de chauffage. Ils comprennent une ou plusieurs galettes.	**10**

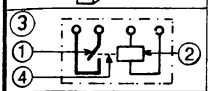
- **Contacteurs dits boutons de minuterie** (fig. 16).

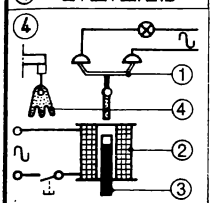
(1) Élément mobile de contact n'ayant qu'une position mécanique de repos dite « Arrêt ».

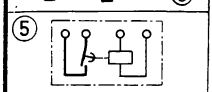
(1) Une révision du symbole des commutateurs est à l'étude à l'U. T. E.

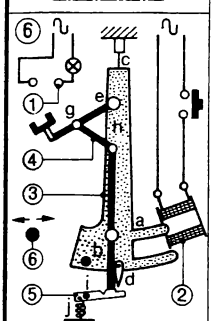


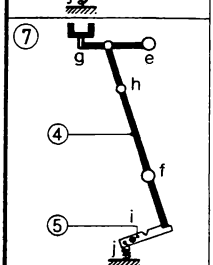


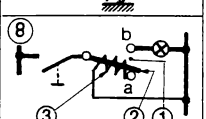












• **Targette** à clé tournante, avec gâche de contact (fig. 1).

• **Interrupteur à lampe témoin,** avec capot et lampe (1) branchée en dérivation ou en série (fig. 2).

• **Télérupteur :** interrupteur destiné à fermer et ouvrir un circuit à distance, de plusieurs endroits (commande électrique). Symbole (fig. 3).

Constitution (fig. 4). *(1)* Interrupteur (à balais feuilletés ou à mercure) : circuit d'utilisation ;
(2) Bobine alimentée en BT ou en TBT : circuit de commande ;
(3) Noyau plongeur ;
(4) Dispositif mécanique à bascule permettant, à chaque attraction de *(3)*, de fermer ou d'ouvrir alternativement *(1)*.

Fonctionnement. Bobine *(2)* alimentée en appuyant sur l'un des boutons poussoirs : le noyau *(3)* attiré, entraîne *(4)* qui ferme *(1)*. Le noyau revient dans sa position de repos dès que la bobine n'est plus alimentée, mais l'interrupteur *(1)* reste fermé. Bobine *(2)* de nouveau alimentée : *(3)* attiré, entraîne *(4)* qui ouvre *(1)* et ainsi de suite.

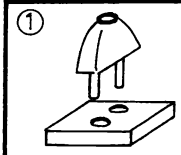
• **Minuterie :** interrupteur à fermeture manuelle et à ouverture automatique retardée ; symbole (fig. 5). Commande de lampes d'éclairage (cage d'escalier, couloir).

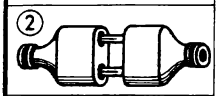
Constitution d'une minuterie à balancier (fig. 6 : position repos).
(1) Interrupteur (balais feuilletés ou à mercure) : circuit d'utilisation ;
(2) Bobine alimentée en BT ou TBT : circuit commande ;
(3) Balancier comportant : un noyau plongeur *(a)*, une goupille d'armement *(b)*, un ressort *(c)* (entretien des oscillations), un ergot *(d)* de déclenchement de *(5)* ;
(4) Tringlerie articulée agissant sur *(1)* : *(e)* et *(f)*, axes d'articulation fixés ou bâti de l'appareil ; *(g)* et *(h)*, axes d'articulation mobiles ;
(5) Organe de verrouillage : (pièce d'armement de *(4)*), axes d'articulation *(i)*, ressort *(j)* ;
(6) butée mobile permettant de régler la durée des oscillations de *(3)* : de 0,5 à 10 min environ.

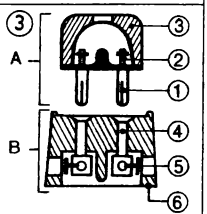
Fonctionnement. Lorsque la bobine *(2)* est alimentée, le balancier *(3)* est attiré. Il entraîne la tringlerie *(4)* par *(b)* qui ferme l'interrupteur *(1)*. L'organe de verrouillage *(5)* maintient l'armement de *(4)* et assure la continuité de fermeture de *(1)*.
Lorsque la bobine n'est plus alimentée, *(3)* oscille, l'ergot *(d)* passe librement sur *(5)*. Lorsque les oscillations de *(3)* deviennent trop faibles, *(d)* s'engage dans une encoche de *(5)*. L'organe de verrouillage s'abaisse et libère *(4)* qui ouvre l'interrupteur.
Fig. 7 : position marche (tringlerie et organe de verrouillage).

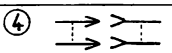
Différents types. Selon le dispositif retardateur : minuterie à balancier, à dash-pot (cylindre se remplissant d'air qui s'échappe ensuite par une petite ouverture), à horlogerie, thermique.

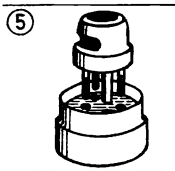
• **Autorupteur** (fig. 8). Interrupteur à ouverture et fermeture automatique à intervalles de temps plus ou moins longs lorsqu'il est sous tension. Emploi : publicité lumineuse, feu clignotant des automobiles.
(1) Interrupteur (contact deux positions *(a) (b)*) ;
(2) Bilame :
— froid, position *(a)* (interrupteur fermé sur circuit de *(3)*) ;
— chauffé, prend position *(b)* (interrupteur fermé sur circuit d'utilisation) ;
(3) Résistance chauffante.

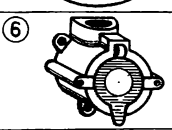


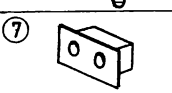


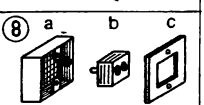


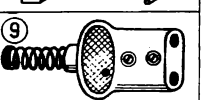


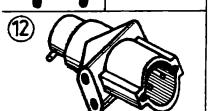












- **Prises de courant et prolongateurs.**

Classifications.

— *d'après leur fonction :*
1. Prises de courant (fig. 1) : ensemble destiné à relier électriquement un câble souple à une source d'énergie électrique ; composé de deux parties : *fiche* et *socle.*
2. Prolongateur (fig. 2) : ensemble destiné à relier électriquement un câble souple à un autre câble souple ; et composé de deux parties : *fiche* et *prise mobile.*

— ***d'après le nombre des organes de contact et leur fonction.***
Appareils bipolaire, tripolaire, tétrapolaire, pentapolaire.
Appareils irréversibles et appareils réversibles.

— ***d'après la protection contre les agents extérieurs :*** appareils ordinaires, protégés contre les chutes d'eau verticales, protégés contre les projections d'eau.

— ***d'après le mode de pose :*** socles pour pose en saillie ou encastrée, socles de parquet.

Différents modèles.

Courants nominaux : 10-16-32 A (en prévision : 10-15-25 A).
Tensions nominales 250 V-380 V.

1. Prises de courant ordinaire à broches (fig. 3).
A. Fiche, partie mobile. *(1)* Broches cylindriques ;
(2) Organe de serrage des conducteurs ;
(3) Isolant (porcelaine, caoutchouc, matière thermo-durcissable, etc.), organe de protection contre le toucher, protège *(1)* ;
B. Socle, partie fixe. *(4)* Alvéoles de contact élastiques ;
(5) Organe de serrage des conducteurs (bornes) ;
(6) Organe de protection contre le toucher, isole *(4).* Trous de fixation de l'appareil sur une paroi.
Symbole (fig. 4).

2. Prises de courant avec mise à la terre (fig. 5).
La borne de terre est conçue pour fermer le circuit de terre avant la mise sous tension des autres contacts et pour l'ouvrir après la mise hors tension des autres contacts.

3. Prises de courant étanches : Matière moulée (ordinaire ou avec presse-étoupe), fonte avec couvercle à clapet (ordinaire, avec presse-étoupe, avec mise à la terre) (fig. 6).

4. Prises de courant à encastrer sur plancher ou plinthe ; sans couvercle (fig 7) ou avec couvercle.

5. Prises de courant à encastrer dans une paroi (fig. 8). *(a)* boîte d'encastrement ; *(b)* socle à encastrer ; *(c)* plaque de recouvrement.

6. Prolongateurs étanches.

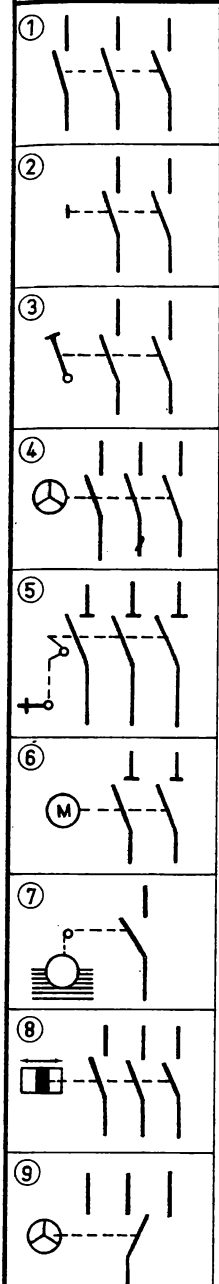
7. Fiches pour appareils ménagers (fig. 9).

8. Divers : fiche multiple (fig. 10) ; fiche triplite (fig. 11) ; bouchon « voleur » (prise de courant à bouchon pour douille) (fig. 12).

Caractéristiques définissant les appareils :

Fonction de l'appareil ; nombre des organes de contact et leur fonction ; courant nominal ; tension nominale ; s'il y a lieu, indice de la feuille de normalisation correspondante ; degré de protection contre les agents extérieurs ; mode de pose.

Exemple : Socle 2P + T 10 A 250 V suivant feuille de normalisation USE 10024-3 pour pose encastrée.



3.5. **Appareillage industriel à basse tension.**

Interrupteurs et sectionneurs (deux positions de repos : « Arrêt », « Marche »).
Selon le mode d'action sur le mécanisme de commande des organes mobiles, on distingue :

• **les appareils commandés à la main** pour la fermeture et l'ouverture :

— directement à l'aide d'un dispositif mécanique fixé sur le bâti de l'appareil lui-même (volant, levier, tirette, poussoir, ou tout autre dispositif mécanique).
Exemples : interrupteur tripolaire sur canalisation à trois conducteurs (fig. 1) ; interrupteur bipolaire à commande à main par levier, par l'intermédiaire d'un mécanisme fixé sur le bâti : entraînement par commande mécanique manuelle (fig. 2), entraînement par levier avec poignée (fig. 3).

— à distance à l'aide d'un dispositif mécanique non fixé sur le bâti et agissant sur le mécanisme de l'appareil par l'intermédiaire d'organes de transmission : bielles, tringles, septains, chaînes, galles, etc.
Exemples : interrupteur tripolaire commandé à distance à l'aide d'un volant (fig. 4) ; sectionneur tripolaire manœuvré par un levier à main, ou par l'intermédiaire de tringles et d'un renvoi de sonnette (fig. 5).

• **les appareils à commande électrique** par électro-aimant ou par moteur électrique. L'alimentation de ces derniers est commandée par l'intermédiaire d'un interrupteur ou d'un relais.
Exemple : sectionneur bipolaire manœuvré par un servo-moteur électrique (fig. 6).

• **les appareils à commandes diverses :**

— fermeture obtenue volontairement par l'action sur l'organe mobile, d'un ressort armé au préalable ou d'un contrepoids préalablement soulevé.
Exemple : interrupteur unipolaire commandé par un flotteur (fig. 7).

— fermeture par air comprimé, obtenue en agissant directement ou à distance sur l'organe mobile au moyen d'air comprimé.
Exemple : interrupteur tripolaire manœuvré par une commande pneumatique à double effet (fig. 8).

Commutateurs.

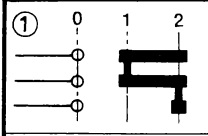
La commande peut se faire :

• **mécaniquement,** directement, ou à distance. Action manuelle sur l'organe de manœuvre ou par l'intermédiaire d'un dispositif mécanique : bielles, leviers, septains, etc.

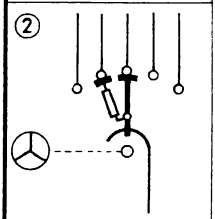
• **électriquement :** électro-aimant ou moteur électrique dont l'alimentation est commandée par interrupteur ou relais.

• **par air comprimé.** Les commutateurs sont conçus pour être manœuvrables en charge ou à vide. Entre les directions successives, le passage peut s'effectuer :

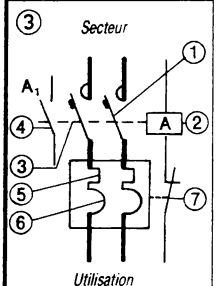
— sans position de repos — avec position de repos — avec chevauchement des contacts.
Exemple : commutateur à trois directions, manœuvrable en charge, avec une position de repos entre les directions successives, commandé par volant par l'intermédiaire d'un mécanisme (fig. 9).



Combinateurs. Si les contacts mobiles sont disposés sur un cylindre et les contacts fixes sur une ou plusieurs génératrices de ce cylindre, les commutateurs s'appellent des combinateurs.
Fig. 1 : exemple de schéma d'ensemble d'un combinateur (en position : O), à doigts et segments de contact.

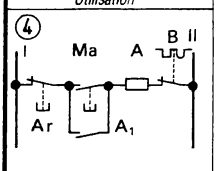


Réducteurs. Ce sont des combinateurs construits spécialement pour éliminer ou introduire successivement dans un circuit des éléments comportant une f. c. e. m. (accumulateurs, spires de transformateur, etc.).
Fig. 2 : exemple d'un réducteur simple, à mouvement circulaire, une seule résistance mobile, commande par volant, par l'intermédiaire d'un mécanisme.



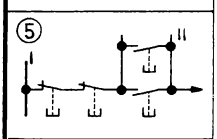
Contacteurs et discontacteurs.
Appareils destinés à ouvrir et fermer un circuit à distance. Permettent la commande à distance (économie de canalisation), à partir de plusieurs points, la protection contre un manque de tension suivi d'un retour. Facilitent la manœuvre (puissance dépensée pour la fermeture très faible, quelques VA). La partie disjoncteur remplace les coupe-circuit et protège contre les surintensités.

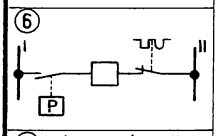
Constitution générale (fig. 3). *(1)* contacts principaux. Repos : ouverture (action de la pesanteur ou d'un ressort). Travail : fermeture (action d'un électro-aimant). Contact fixe et mobile roulant (auto-nettoyage par frottement). Boîtier de soufflage ou chambre de coupure (cloison en matière réfractaire).
(2) bobine de commande de *(1)* : alimentée (fermeture de *(1)*) ; non alimentée (ouverture de *(1)*). Circuit magnétique fixe, armature mobile avec barre isolante portant *(1)* et *(4)*.
(3) dispositif mécanique de liaison entre *(1)* et *(2)* ;
(4) contact auxiliaire de réalimentation : ouvert au repos, fermé au travail. *(5)* relais thermique. *(6)* relais magnétique.
Ensemble *(5)* + *(6)* : relais magnéto-thermique.
(7) contact de sécurité. Fermé lorsque l'intensité est normale dans le circuit principal. S'ouvre par suite d'une surintensité détectée par *(5)* ou *(6)*. *(8)* liaison mécanique entre *(5)* *(6)* et *(7)*.



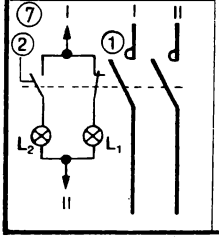
Circuit de commande de la bobine (fig. 4).

— *Commande manuelle :*
Ar. Bouton arrêt : fermé au repos, ouverture momentanée.
Ma. Bouton marche : ouvert au repos, fermeture momentanée.
En appuyant sur Ma, la bobine est alimentée. Les contacts principaux et A_1 se ferment. En relâchant Ma, A_1 assure la continuité du circuit. En appuyant sur Ar, le circuit de la bobine se coupe.
Par suite d'un manque de tension les contacts principaux s'ouvrent ; un retour n'a plus d'effet sur le circuit, il est nécessaire d'appuyer sur Ma.
Par suite d'une surintensité prolongée (action de *(5)*) ou d'un court-circuit (action de *(6)*), le contact *(7)* s'ouvre et coupe le circuit de la bobine.



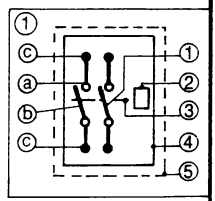


— *Commande à partir de plusieurs points* (fig. 5).
Ma en dérivation, Ar en série.



— *Commande automatique.* Asservissement à une température (thermostat), une pression (manostat), un niveau (interrupteur à flotteur), une position (interrupteur fin de course), un temps (horloge), un éclairement (cellule photo-électrique).
Fig. 6 : exemple d'organe de commande actionné par la pression.
Fig. 7 : signalisation de position.
L_1 : signalisation ouverture du circuit par *(1)*.
L_2 : signalisation fermeture du circuit par *(2)*.

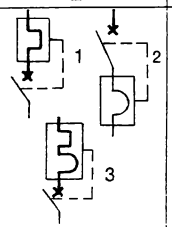
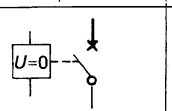
4. APPAREILS DE PROTECTION



4.1. **Constitution générale** (fig. 1).

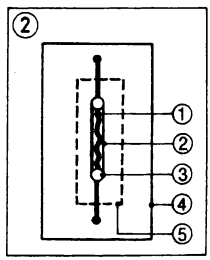
(1) Organe d'interruption du circuit principal ; *(a)* Contacts fixes, *(b)* contacts mobiles, *(c)* organe de liaison électrique avec le circuit extérieur (alimentation, utilisation) ; *(2)* Organe détecteur de la perturbation ; *(3)* Organe de liaison mécanique entre *(2)* et *(1)* ; *(4)* Socle supportant les différents organes ; *(5)* Protection contre le toucher.

4.2. **Classification générale d'après le moyen de détection et son mode d'action sur l'organe d'interruption.**

Nature des protections	Moyen de détection	Désignation de l'organe	Constitution des appareils	Désignation des appareils
	Effet thermique.	Fil calibré.		Coupe-circuit à fusible.
Surintensités (Action de *I* sur l'organe détecteur).	Effets : — thermique. — magnétique. — magnétique et thermique.	Bilame. 1 Électro-aimant (bobine). 2 Bilame et bobine. 3		Disjoncteur. L'ouverture de l'appareil se produit automatiquement dans des conditions prédéterminées. Disjoncteur à maximum de courant.
Manque de tension (Action de *U* sur l'organe détecteur).	Effet magnétique.	Bobine.		Disjoncteur à manque de tension.

4.3. **Coupe-circuit à fusible.**

Constitution (fig. 2). *(1)* Élément fusible : à remplacer après fusion. Fusible : fil ou lame qui est calibré pour fondre sous un courant déterminé ;
(2) Porte-fusible : élément amovible destiné à recevoir l'élément fusible et en faciliter la mise en place et l'enlèvement ;
(3) Élément de calibrage : organe adjoint au socle ou faisant corps avec lui, destiné à empêcher l'emploi d'un porte-fusible établi pour un courant supérieur à celui qui correspond à cet organe ;
(4) Socle : partie inamovible destinée à être raccordée d'une façon permanente aux conducteurs de la canalisation et à recevoir le porte-fusible ;
(5) Protecteur : protection contre les contacts accidentels. Coupe-circuit non protégé (pièces sous tension accessibles), protégé (pièces sous tension accessibles protégées par une enveloppe ordinaire, renforcée ou blindée), fermé (complètement enfermé).



Classification.

• **d'après les dispositions limitant les manifestations extérieures :**
— coupe-circuit à fusion libre : aucun dispositif ne limite le développement de l'arc ;
— coupe-circuit à expulsion : possède un dispositif dirigeant dans une ou plusieurs directions déterminées, les produits de la fusion ;
— coupe-circuit à fusion protégée : le fusible enfermé ne produit, lors de la fusion, aucune manifestation nuisible à la sécurité des personnes ou à la conservation des objets.

• **d'après le mode de remplacement de l'élément fusible :**

— coupe-circuit à éléments fusibles remplaçables sous tension : le fusible peut être remplacé directement à la main sans que l'opérateur entre en contact avec des pièces sous tension ;

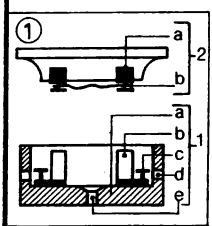
— coupe-circuit muni d'un verrouillage : dispositif empêchant l'enlèvement et la mise en place des fusibles tant que la manœuvre les mettant hors tension n'a pas été effectuée ;

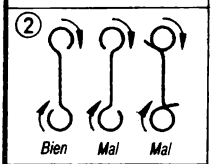
— coupe-circuit à éléments fusibles non remplaçables sous tension : le remplacement des fusibles ne peut être effectué que hors tension ;

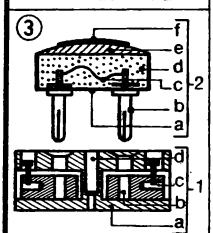
— coupe-circuit à éléments fusibles non rechargeables : élément remplacé par le constructeur ;

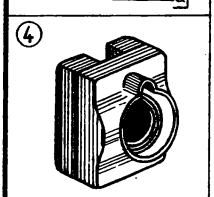
— coupe-circuit à éléments fusibles rechargeables : peuvent recevoir des éléments de remplacement autres que ceux fournis par le constructeur ;

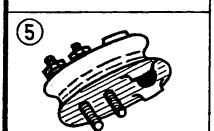
— coupe-circuit calibrés : destinés à recevoir seulement des éléments de remplacement d'un type et d'un calibre déterminés.











Principaux types.

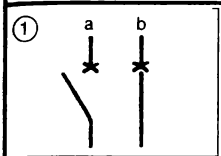
• **Coupe-circuit dits « tabatières » :** unipolaires (fig. 1), bipolaires[1].
(1) Socle ; *(a)* boîte en porcelaine ; *(b)* mâchoires en laiton ; *(c)* bornes de raccordement des conducteurs de l'installation ; *(d)* entrées des conducteurs ; *(e)* trous de fixation :
(2) Couvercle en porcelaine ; *(a)* contacts fixés sur le couvercle et s'engageant dans les mâchoires du socle ; *(b)* fil fusible, généralement en alliage de plomb (65 %) et d'étain (ou fil d'aluminium ou d'argent).
Calibre des appareils : 5-10-20-30 A.
Fixation du fusible sur le couvercle : fig. 2.

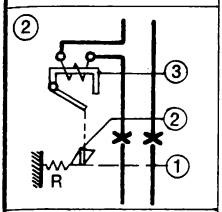
• **Coupe-circuit calibrés à broches** (fig. 3). *(1)* Socle en porcelaine (unipolaire ou bipolaire) ; *(a)* semelle ; *(b)* alvéoles en laiton dans lesquelles s'engagent les broches du bouchon ; *(c)* bornes recevant les conducteurs ; *(d)* trou de fixation.
(2) Bouchon porte-fusible unipolaire ; *(a)* corps en porcelaine ; *(b)* broches ; *(c)* fil fusible en argent, réunissant les deux broches, noyé dans du sable fin *(d)* ; *(e)* plâtre fermant le bouchon ; *(f)* étiquette de couleur précisant la série.
Calibres :
— série bleue : de 0,5 à 5 A (installations).
— blanche : de 0,5 à 10 A (tableaux de compteurs).
— jaune : de 3 à 25 A (tableaux de distribution).
— violette : de 16 à 64 A (tableaux de distribution).
— rouge : de 3 à 25 A (secteurs de distribution).
— brune : jusqu'à 125 A.
Le bouchon peut être à fusibles rechargeables utilisant des plaquettes calibrées en matière plastique : série bleue (2-4-6 A), blanche (10-15 A), jaune (15-20-25-30 A). On peut également utiliser des porte-cartouches à broches avec des cartouches du type électro-domestique ou industriel.
On peut adjoindre au bouchon un indicateur de fusion (voyant faisant saillie lors de la coupure du fil).

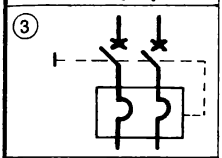
• **Coupe-circuit à vis, type « Edison »** (fig. 4).
Socle avec douille et plot de contact, bouchon, cartouche contenant le fusible.

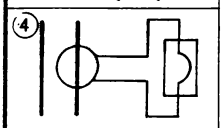
• **Coupe-circuit divers :**
— aérien de branchement (fig. 5) ;
— de branchement (uni, bi, tri et tétrapolaire) sous coffret en bois, boîte en fonte ou à capot métallique ;
— pour tableau, sous coffret tôle ou matière isolante.

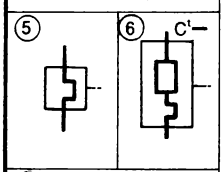
(1) Ces coupe-circuits sont remplacés par ceux à alvéoles et fusibles calibrés ou à cartouches.

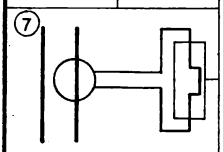


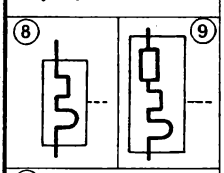


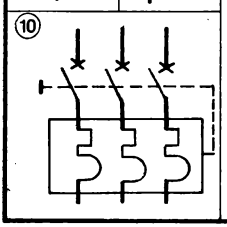












4.4. **Disjoncteurs.**

Interrupteurs dont l'ouverture se produit automatiquement dans des conditions prédéterminées. Symbole général : fig. 1 a, ouvert, fig. 1 b, fermé.
La fermeture peut se faire :

— **à la main,** directement ou à distance ;

— **électriquement** : électro-aimant ou moteur ;

— **par ressort** ou contrepoids ;

— **par air comprimé.**

L'ouverture se produit automatiquement soit par suite d'une surintensité (disjoncteur à maximum de courant), soit par suite d'un défaut de tension (disjoncteur à manque de tension).

Disjoncteur à maximum de courant. Lorsque le courant dépasse une certaine valeur (appelée courant de fonctionnement) le déclenchement se produit. L'action est *instantanée* lorsque le dispositif qui provoque l'ouverture (déclencheur ou relais) fonctionne aussitôt que le courant dépasse la valeur du courant de fonctionnement : *type magnétique* (bobine).
L'action est *différée* lorsque le dispositif ne fonctionne qu'après un certain délai : *type thermique* (déformation par dilatation de deux métaux soudés ensemble et ayant des coefficients de dilatation différents : bilame).

Constitution (fig. 2 : appareil fermé).

(1) Organe d'interruption du circuit principal : contact feuilleté (pression assurée par une biellette mobile munie d'un balai feuilleté) ou contact mobile roulant, appuyé par un ressort. La coupure peut se faire :

— dans l'air, avec pare-étincelles ou soufflage magnétique ;

— ou dans l'huile.

(2) Mécanisme de fermeture et d'accrochage des contacts mobiles : poignée isolante de manœuvre ; dispositif (bielle, manivelle, genouillère) agissant sur les contacts mobiles ; crochet bloquant le dispositif ci-dessus.

(3) Mécanisme d'ouverture : action manuelle directe sur le dispositif d'accrochage, action automatique à l'aide d'un déclencheur :

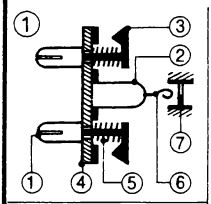
— magnétique : bobine branchée directement dans le circuit (fig. 3), bobine branchée sur le secondaire d'un transformateur (fig. 4).

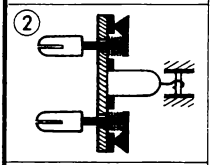
— thermique : à chauffage électrique direct (fig. 5), à chauffage indirect (fig. 6 et 7).

— magnéto-thermique : à chauffage direct (fig. 8), à chauffage indirect (fig. 9).

Fig. 10 : exemple de représentation d'un disjoncteur tripolaire à maximum de courant : fermeture à main par poussoir, trois déclencheurs magnéto-thermiques à chauffage direct.

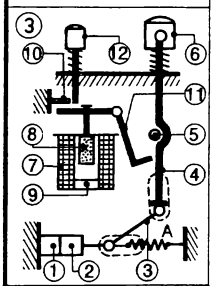
Remarque. L'ouverture doit pouvoir se faire également par manœuvre volontaire (non automatique), à la main ou électriquement. Si le disjoncteur est muni d'un dispositif empêchant la fermeture tant que le circuit se trouve perturbé, on l'appelle à fermeture empêchée. Dans ce cas, il est nécessaire de réarmer à la main en agissant sur le noyau.





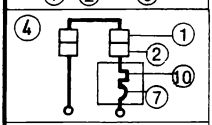
• **Description d'un petit disjoncteur** (coupe-circuit automatique) : fig. 1. *(1)* broches ; *(2)* Bilame en forme d'U, réunissant deux bandes de cuivre ; *(3)* Contacts élastiques ; *(4)* Plaque isolante mobile ; *(5)* Ressorts ; *(6)* Crochet s'accrochant à une roulette *(7)* ; *(7)* Roulette fixée au bâti de l'appareil.

Fonctionnement. En appuyant sur *(4)*, on provoque l'accrochage de *(6)* sur *(7)* ; le courant circule en passant par les bandes de cuivre et la bilame (fig. 2). Une surintensité échauffe *(2)* qui se déforme, dégageant *(6)* de *(7)*. Les ressorts *(5)*, préalablement comprimés, se détendent et repoussent brusquement *(4)* ; le circuit est coupé.
Le réenclenchement s'opère en sortant le coupe-circuit de ses alvéoles et en poussant avec le doigt *(4)* jusqu'à son accrochage.

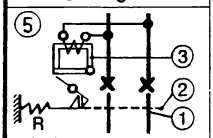


• **Description d'un disjoncteur magnéto-thermique pour installation d'éclairage et applications électro-domestiques** (fig. 3). *(1)* Contact fixe ; *(2)* Contact mobile en forme de fourche (fig. 4) permettant d'avoir une coupure double sur le pôle actif (allongement rapide de l'arc) ; *(3)* Mécanisme principal : système coulissant lié au contact mobile ; *(4)* Mécanisme d'enclenchement articulé sur *(6)* ; *(5)* Verrouillage du mécanisme *(4)* ; *(6)* Bouton d'enclenchement ; *(7)* Bobine + *(8)* noyau + *(9)* armature = relais électromagnétique ; *(10)* Élément thermique (bilame) ; *(11)* Relais mécanique ; *(12)* Bouton de déclenchement.

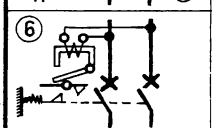
Fonctionnement. En appuyant sur *(6)*, l'appareil s'enclenche (position fig. 3) ; le courant circule en passant par *(1)*, *(2)*, *(10)* et *(7)* (fig. 4).



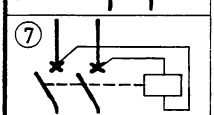
Déclenchement par action électromagnétique (fig. 3) : en cas de courts-circuits ou de surcharges très grandes, *(8)* est attiré, *(11)* fait basculer *(4)*, *(3)* se libère par l'action du ressort *(A)*, préalablement tendu. *(1)* et *(2)* se séparent brusquement.



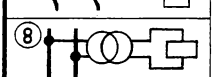
L'action de *(11)* sur *(4)* peut se faire également par déformation de *(10)* (surcharge dangereuse par sa durée) ou en appuyant sur *(12)*.



Disjoncteur à manque de tension. Le déclenchement automatique est effectué lorsque la tension d'alimentation est supprimée.



• *Constitution :* appareil fermé (fig. 5), ouvert (fig. 6). *(1)* Organe d'interruption ; *(2)* Mécanisme de fermeture et d'accrochage des contacts mobiles ; *(3)* Mécanisme d'ouverture : action manuelle directe sur le dispositif d'accrochage ; action automatique à l'aide d'un déclencheur : bobine branchée directement sur le secteur (symbole fig. 7) ou par l'intermédiaire d'un transformateur de tension (cas du courant alternatif, fig. 8).



Si l'armature du déclencheur se soulève d'elle-même quand la tension est rétablie aux bornes de la bobine, le dispositif est dit à *réarmement automatique*. S'il est nécessaire de soulever le noyau à la main, le dispositif est dit à *réarmement à main*.

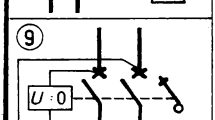
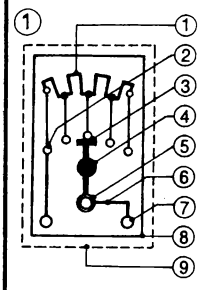
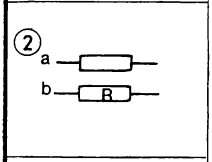
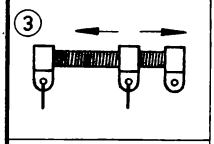
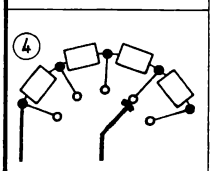


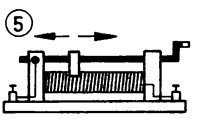
Fig. 9 : exemple de représentation d'un disjoncteur bipolaire à manque de tension : fermeture à main par levier avec poignée, bobine branchée directement sur le secteur.

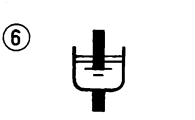


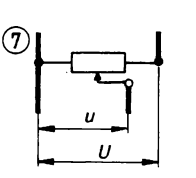












5. APPAREILS DE RÉGLAGE

5.1. **Constitution générale** (fig. 1).

(1) Résistance variable ou fixe (métallique ou liquide) ; *(2)* Contacts fixes : boulons, plots, résistance elle-même ; *(3)* Contact mobile glissant : frotteur, balai, curseur ; *(4)* Organe de commande de *(3)* : à main (manette, volant, manivelle) ou automatique ; *(5)* Contact d'articulation ; *(6)* Organes de jonctions internes : fils, câbles, barres ; *(7)* Organes de liaisons extérieures : bornes de serrage ; *(8)* Support ; *(9)* Organe de protection contre le toucher.

5.2. **Classification générale.**

— d'après le mode de réglage du circuit.

• Résistance fixe pour réglage permanent de l'intensité dans un circuit. Fig. 2 a : symbole général. Fig. 2 b : résistance pratiquement non réactive.

• Résistance fixe à ajustement par collier (fig. 3).

• Résistance réglable : métallique, à plots (fig. 4), réglage discontinu ou à curseur (fig. 5) réglage continu liquide (fig. 6). Emploi : rhéostat de démarrage, rhéostat d'excitation, réducteur, potentiomètre (fig. 7), etc.

— d'après le mode de commande (résistance variable).

• **Commande non automatique :** emploi de volant, levier, pédale. L'intervention peut être :

— directe (dispositif fixé sur l'appareil lui-même) ;

— à distance (dispositif distinct de l'appareil : commande mécanique, électrique ou pneumatique).

• **Commande automatique.** A la suite d'une impulsion initiale fournie par un organe de mise en marche, la succession des opérations nécessaires aux variations s'effectue sans autre intervention de l'opérateur.

Emploi d'appareils :

— à contact momentané (contacteurs à poussoir, relais contacteurs) ;

— à coupure momentanée (rupteurs à poussoir, relais rupteur) ;

— à contact et à coupure maintenus (interrupteur de fin de course).

— d'après l'isolement et le refroidissement.

• Appareils immergés dans un liquide isolant, appareils non immergés.

• Appareils à ventilation naturelle (par simple convexion), appareils à ventilation forcée (ventilateur).

5.3. **Constitution des résistances.**

Résistances métalliques :

— fils et rubans en maillechort, nickel-chrome, etc., tendus sur manchons isolants (grès, porcelaine, stéatite) ou enroulés sur plaque en amiante ;

— résistances noyées dans un produit réfractaire ;

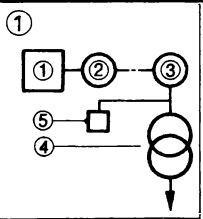
— bandes ondulées en acier estampé et grilles en fonte moulée (pour fortes intensités).

Résistances liquides : électrodes (généralement en cuivre ou en charbon) plongées dans une solution aqueuse à base de soude ou de sulfate de cuivre et contenues dans un bac (fonte, verre, bois).

Remarque. On peut adjoindre aux rhéostats des dispositifs de protection permettant, par exemple, l'arrêt automatique d'un moteur en cas de manque de tension, d'excitation, ou en cas de surintensité.

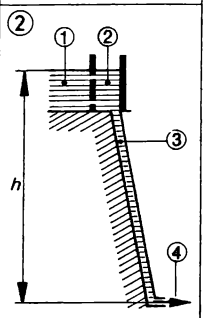
V - PRODUCTION

transport et distribution



1. PRODUCTION

Le courant alternatif est adopté parce qu'il permet de transformer la tension (diminution des pertes de puissance en ligne).
La production est assurée par un ensemble de machines et d'appareils dont l'ensemble constitue une *usine électrique* (fig. 1). *(1)* Source d'énergie (hydraulique, thermique, divers); *(2)* Moteur (turbine); *(3)* Générateur électrique (alternateur); *(4)* Poste de départ (transformateurs); *(5)* Salle de contrôle.

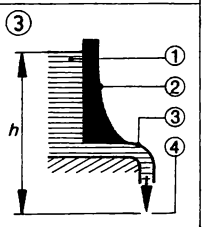


1.1. **Usines hydrauliques.**

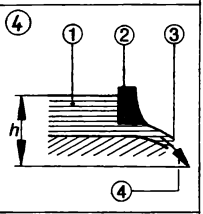
Emploi de moteurs hydrauliques.
Constitution générale : réservoir d'eau, conduite forcée ou canal, turbine hydraulique, alternateur, poste de départ.

Différents types :

• **Usines à haute chute** (fig. 2) : h = 300 à 2 000 m. Torrents et lacs de montagne (artificiels ou naturels) situés à haute altitude.
(1) Chambre de mise en charge augmentant le volume d'eau emmagasiné dans les lacs; *(2)* Chambre de décantation; *(3)* Conduite forcée (en béton armé ou en acier); *(4)* Vers la turbine à axe horizontal.



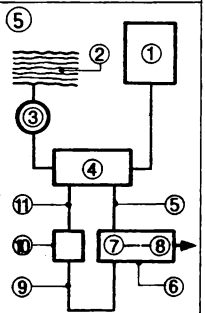
• **Usines à moyenne chute** (fig. 3) : h = 40 à 300 m. Barrage placé sur un cours d'eau à débit irrégulier; lac artificiel *(1)* créé dans une vallée encaissée, par exemple.
(2) Barrage de retenue, en ciment armé; *(3)* Conduites forcées à ciel ouvert ou en tunnel; *(4)* Vers la turbine à axe vertical.



• **Usines à basse chute** (ou « au fil de l'eau ») (fig. 4) : h = 10 à 40 m. Placées sur des rivières *(1)* dont le débit est important.
Barrage *(2)* ralentissant l'eau et la dirigeant vers la turbine *(4)* (à axe vertical) à l'aide d'une conduite ou d'un canal très large *(3)*.

1.2. **Usines thermiques.**

Emploi de moteurs thermiques.
Constitution générale : source produisant un gaz sous pression (vapeur d'eau, gaz de combustibles solides ou liquides), turbine ou moteur actionné par la détente du gaz, alternateur actionné par le moteur (généralement à axe horizontal), poste de départ.



Différents types :

• **Usines thermiques à turbine à vapeur** (à grande vitesse) (fig. 5) situées généralement sur le carreau des mines ou à proximité des grandes villes.
(1) Parc à charbon (lieu de stockage du combustible); *(2)* Alimentation d'eau (rivière); *(3)* Salles des pompes (distribution de l'eau aux chaudières); *(4)* Salle des chaudières (générateurs de vapeur produisant la vapeur sous pression, nécessaire au fonctionnement des turbines); *(5)* Canalisation conduisant la vapeur vers la salle des machines *(6)*; *(7)* + *(8)* turbo-alternateur; *(9)* Vapeur dirigée vers des condensateurs *(10)* qui restituent cette vapeur en eau *(11)*, renvoyée aux chaudières.

• **Usines thermiques à moteur à combustion interne,** utilisant un gaz provenant d'un combustible liquide ou solide.
Situées au voisinage de hauts fourneaux dont les gaz sont utilisés, soit directement dans le moteur, soit dans les chaudières dont la vapeur actionne une turbine.

• **Usines mixtes,** groupement d'usines hydraulique et thermique. Destinées à répondre aux besoins variables de la consommation (marche simultanée ou séparée).

1.3. **Usines diverses.**

— **Marémotrices,** utilisant le flux et le reflux de la mer.

— **Aéromotrices,** utilisant l'énergie due au vent de certaines régions côtières (entraînement d'une hélice qui actionne un alternateur).

— **Nucléaires,** la chaleur nécessaire à la production de la vapeur d'eau est due à l'énergie produite par la dégradation de la matière.

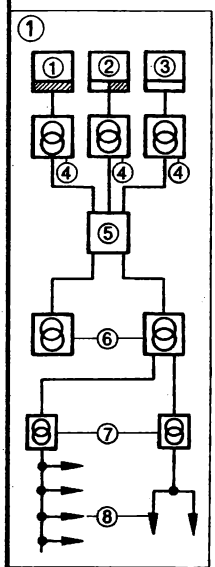
2. TRANSPORT ET DISTRIBUTION

Pour des raisons économiques et techniques, les usines productrices s'édifièrent de préférence à proximité de la source d'énergie, donc assez loin des agglomérations — d'où nécessité d'un *transport d'énergie.*

Grandes lignes exploitées : 120 000 V (en diminution), 220 000 V et 380 000 V (en augmentation). Fréquence normalisée : 50 Hz.

Les échanges d'énergie entre régions assez éloignées sont réalisés par un *réseau national d'interconnexion.*

Avantages : accroissement de la sécurité d'alimentation des usagers ; amélioration de la qualité de l'énergie fournie.



La réalisation du programme de charge est effectuée par des organismes de commande, nommés *« dispatchings ».*

Les groupements d'usagers sont alimentés par un *réseau de distribution.*

Exemple d'un transport d'énergie depuis la production jusqu'à l'utilisation (fig. 1).

(1) Usine hydraulique ; *(2)* Usine mixte ; *(3)* Usine thermique ;

(4) Sous-stations de transformation (de 5-15 kV à 90-225 kV) des usines électriques ;

(5) Centre de couplage permettant l'interconnexion des usines et éventuellement la distribution de l'énergie à plusieurs postes de transformation abaisseurs ;

(6) Postes de répartition abaissant la tension du courant et la répartissant vers des postes de distribution sous des tensions variant entre 5,5 et 15 kV ;

(7) Postes de transformation 5,5-15 kV en BT (127/220 V ou 220/380 V) ;

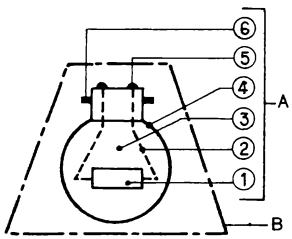
(8) Distribution rurale (puissance des transformateurs inférieure à 50 kVA, secondaire BT) ou urbaine (cabines souterraines ou en surface).

L'alimentation des installations de grosse importance (usines, ateliers, immeubles) se fait par l'intermédiaire de *« postes d'abonnés »* ou *« postes d'immeuble »* (en souterrain, sous le trottoir, ou dans les immeubles).

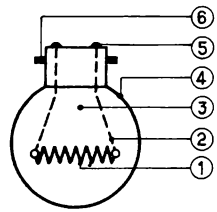
VI - ÉCLAIRAGE

utilisation de l'énergie électrique

①



②



1. CONSTITUTION GÉNÉRALE DES APPAREILS D'ÉCLAIRAGE

Tout système d'éclairage comporte : un appareil producteur A d'énergie radiante et un dispositif B de répartition ou de diffusion de cette énergie.

Principaux éléments constitutifs (fig. 1).

(1) Foyer lumineux transformant l'énergie électrique en énergie radiante ;

(2) Organe de liaison électrique interne reliant le foyer à la source d'énergie électrique par l'intermédiaire de *(5)* ;

(3) Atmosphère préservant *(1)* de l'oxydation pour qu'il ne brûle pas rapidement ;

(4) Enveloppe (ampoule ou tube) renfermant *(3)* ;

(5) Organe de liaison électrique externe, reliant *(1)* et *(2)* à la source électrique extérieure ;

(6) Organe de liaison mécanique externe destiné à maintenir l'appareil producteur.

2. APPAREILS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE RADIANTE

Lampes à incandescence : l'émission de lumière résulte de la température très élevée à laquelle est porté un corps parcouru par un courant électrique ;

Lampes ou tubes à décharge lumineuse : produisent la lumière par passage d'une décharge électrique dans un ou plusieurs gaz raréfiés, dans des vapeurs métalliques, ou dans un mélange de plusieurs gaz et vapeurs ;

Lampes à arc : la lumière est produite par la décharge électrique, dans l'air, entre deux électrodes de charbon.

2.1. **Lampes à incandescence** (fig. 2).

(1) Filament : conducteur rendu incandescent par le passage du courant électrique.

Pour obtenir un bon rendement lumineux, il faut que le filament soit porté à une température aussi élevée que possible. La substance utilisée devra se vaporiser le moins possible aux hautes températures : emploi du tungstène dont la température de fusion est de l'ordre de 3000 °C.

Le fil est spiralé (surface plus petite que la disposition en ligne brisée primitivement utilisée) de façon à diminuer les pertes de chaleur par convection se produisant par refroidissement du conducteur (dû à l'introduction du gaz dans l'ampoule).

(2) Fil de traversée : traverse le culot et relie le filament à la source de courant par l'intermédiaire du culot.

Le métal utilisé pour les fils qui traversent l'ampoule doit rester hermétique malgré les variations de température : emploi du dumet (conducteur tréfilé dont l'âme de ferro-nickel est enveloppée d'une gaine de cuivre) dont le coefficient de dilatation est sensiblement égal à celui du verre.

(3) Atmosphère : vide ou gaz protégeant le filament en contrariant et retardant sa désintégration. L'introduction d'un gaz a permis d'élever la température de fonctionnement du filament.

(4) Ampoule : enveloppe de verre de diverses formes contenant la source lumineuse et l'atmosphère.

Le verre doit résister à la chaleur (donc être peu fusible), supporter les variations de température assez importantes qui ont lieu entre le fonctionnement et l'arrêt de la lampe, être assez solide pour ne pas se détériorer facilement, absorber peu de lumière (être transparent) : clair si l'éblouissement n'est pas à craindre, recouvert d'une matière diffusant la lumière dans le cas contraire (opale ou dépoli).

La forme peut être imposée par des considérations d'esthétique.

(5) et *(6)* Culot : partie métallique fixée à l'ampoule et permettant de relier électriquement la lampe à la source d'énergie électrique et de la maintenir par des ergots *(6)*.

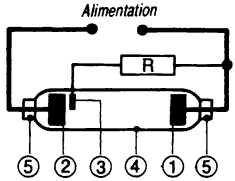
La nature des contacts dépend de l'intensité du courant les traversant : culots à baïonnette, à vis (Goliath, Edison, petite Edison, mignonnette), culots spéciaux (lampes de vitrine, par exemple).

Dans la série standard les lampes sont cataloguées d'après les puissances consommées : 15-25-40-60-75-100 W.

Pour les grandes puissances on rencontre les types suivants :
150-200-300-500-750-1 000-1 500 W.
Les indications suivantes sont portées sur le culot ou l'ampoule des lampes :
— tension d'utilisation : *U* en V ;
— puissance absorbée : *P* en W ;
— flux lumineux émis sous la tension *U* : flux *F* en lumen (lm).

Exemple : lampe 40 W, 110-130 V, 450 lm.

①



2.2. **Tubes luminescents.**

Constitution générale (fig. 1). *(1)* *(2)* Électrodes principales ; *(3)* Électrode auxiliaire rapprochée d'une des électrodes principales de façon à provoquer l'amorçage entre *(1)* et *(3)*.

Après ionisation du gaz, une décharge se produit entre *(1)* et *(3)*, shuntant *R* ; *(4)* Ampoule ; *(5)* Culot ; *R* Résistance.

Différents types.

• **Tubes à électrodes non émissives** : courant alternatif, haute tension, 2000 à 3000 V. Emploi : publicité lumineuse, balisage des aérodromes.

La couleur de la lumière dépend de la nature de l'atmosphère : néon *(rouge)* ; hélium *(jaune)* ; oxyde d'uranium *(verte)* ; néon et mercure *(blanche)*, etc.

Du fait de l'utilisation de la haute tension, certaines précautions sont à prendre :

— utilisation d'un interrupteur coupant les deux conducteurs d'alimentation basse tension du transformateur. Aucun organe de coupure ne doit être placé du côté H. T. ;

— inaccessibilité des conducteurs soumis à la H. T. (utilisation de gaine spéciale, de tube acier protecteur).
Le motif luminescent est décomposé en plusieurs éléments montés en série.

• **Lampes à lueur cathodique** : faible intensité lumineuse, faible consommation. Emploi : lampe témoin, veilleuse.

Ces lampes contiennent deux électrodes assez rapprochées en fer recouvert de sels alcalino-terreux pour faciliter l'amorçage.

• **Lampes à décharge dans une vapeur métallique :**

— Lampes à vapeur de mercure : éclairage public, tunnels, halls, etc.

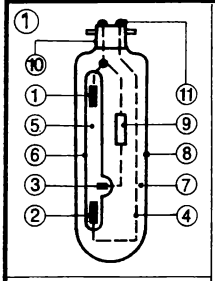
Selon la valeur de la pression du gaz on trouve des lampes à basse, moyenne, haute et très haute pression.

— Lampes à vapeur de sodium : éclairage de grands espaces, routes, chantiers, parcs, gares de triage, etc.

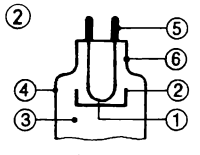
Ces lampes ont une efficacité lumineuse élevée ; elles consomment quatre fois moins de puissance qu'une lampe à incandescence, pour un même flux lumineux.

VI - ÉCLAIRAGE

utilisation de l'énergie électrique

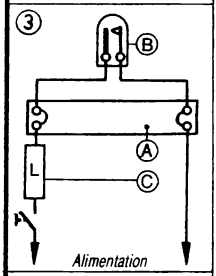


Description d'un tube luminescent à électrodes non émissives (fig. 1). *(1) (2)* Électrodes principales : amorcent la décharge; *(3)* Électrode auxiliaire : facilite l'amorçage; *(4)* Fils de traversée : relient les organes internes à la source extérieure, par l'intermédiaire du culot; *(5)* Atmosphère : permet la décharge lumineuse (couleur dépend du gaz utilisé); *(6)* Tube de verre : contient l'atmosphère *(5)*; *(7)* Atmosphère : diminue les pertes de chaleur; *(8)* Ampoule extérieure : contient l'atmosphère *(7)*; *(9)* Résistance : stabilise l'intensité de la décharge en réduisant la tension après l'amorçage; *(10), (11)* Culot : relie électriquement le tube et le maintient.



2.3. **Lampes et tubes fluorescents.**

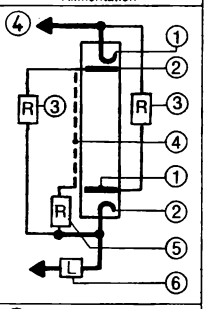
Fonctionnement. Production d'un rayonnement ultraviolet transformé en lumière visible par des poudres fluorescentes déposées à l'intérieur du tube.



Différents types.

• **Lampes fluorescentes « basse tension » à allumage différé** (fig. 2). *(1)* Électrode (filament de tungstène doublement spiralé recouvert d'un dépôt d'oxyde émissif); *(2)* Coupelle (ralentit le noircissement du tube); *(3)* Atmosphère (argon à basse pression); *(4)* Tube; *(5)* Broches; *(6)* Culot.

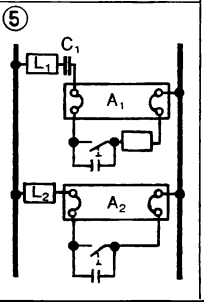
Le fonctionnement nécessite : une tension suffisamment élevée pour produire l'amorçage (surtension instantanée produite par extra-courant de rupture au moyen d'une inductance), une tension moins élevée pour stabiliser l'arc. La surtension doit avoir lieu lorsque les électrodes sont dans un état favorable à l'émission d'électrons, c'est-à-dire lorsqu'elles sont chaudes (fig. 3).



(A) tube fluorescent; *(B)* starter à lueur; *(C)* appareil de stabilisation : inductance.

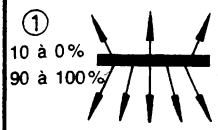
• **Lampes à allumage instantané** (fig. 4). Dès la mise sous tension, une décharge se produit à chaque extrémité de la lampe entre *(1)* et *(2)*, ce qui provoque une décharge entre les électrodes principales.

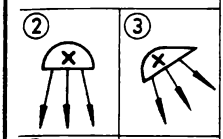
(1) Électrodes principales spécialement émissives; *(2)* Électrodes auxiliaires. *(3)* Résistances. *(4)* Dépôt conducteur; *(5)* Résistance de protection de *(4)*; *(6)* Appareillage auxiliaire.

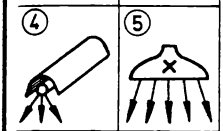


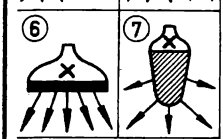
• **Montage « duo ».** Pour éviter une émission lumineuse irrégulière due aux variations cycliques du courant (effet stroboscopique gênant la vue), on alimente simultanément deux lampes au moyen d'un montage « duo » (fig. 5). La lampe A_2 est stabilisée par l'inductance L_2 et A_1 par l'inductance L_1 et le condensateur C_1.

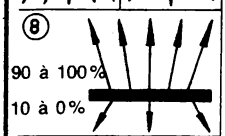
• **Tubes fluorescents « haute tension ».** 2000 à 10000 V selon la longueur des tubes employés et le nombre de lampes placées en série.

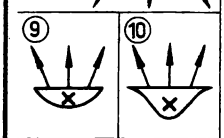


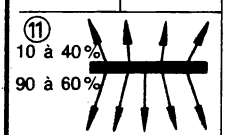


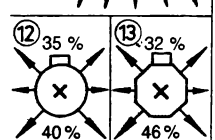


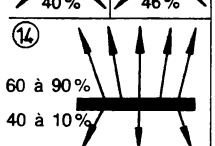


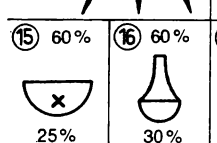


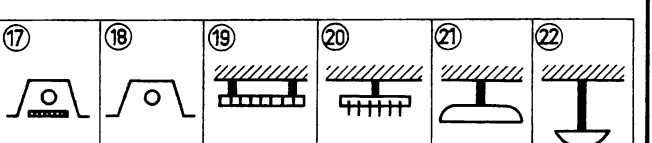












3. APPAREILS DE RÉPARTITION

Rôle. Pour éviter l'éblouissement, pour donner sur le plan d'utilisation une distribution convenable de la lumière, pour augmenter le rendement, on utilise des appareils qui répartissent ou diffusent la lumière.

Différents types d'appareils.
(classification d'après la distribution de la lumière).

Éclairage direct. La lumière est dirigée directement vers le travail. La source lumineuse est enfermée dans une enceinte dont la paroi réfléchit les rayons lumineux.
Fig. 1 : répartition approximative du flux lumineux produit par la lampe (envoyé le plus directement possible sur le plan utile).
Appareils utilisés : réflecteurs concentrants (fig. 2-3-4), extensifs (fig. 5), diffuseurs (fig. 6), réfracteurs (fig. 7).
Emploi : éclairage industriel et commercial.

Éclairage indirect. La lumière est envoyée sur le plafond des locaux à éclairer (diffuseur réfléchissant).
Fig. 8 : répartition approximative du flux lumineux envoyé sur un grand écran diffuseur (plafond, en général) qui diffuse la lumière dans toutes les directions.
Emplois : installations particulièrement soignées (bureaux, salons, magasins, etc.).
Appareils utilisés : coupes ou réflecteurs (fig. 9 et 10).

Éclairage mixte. La lumière est en partie envoyée directement sur le plan utile (éclairage direct) et en partie au plafond (éclairage indirect).

- Éclairage semi-direct : répartition du flux (fig. 11).
Appareils utilisés : globes diffuseurs (fig. 12), diffuseurs (fig. 13).

- Éclairage semi-indirect : répartition du flux (fig. 14).
Appareils utilisés : coupes (fig. 15), réfracteurs diffuseurs (fig. 16).
Emplois : appartements, magasins, bureaux.

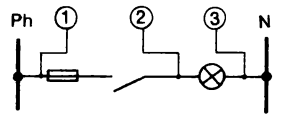
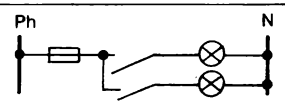
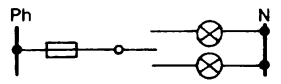
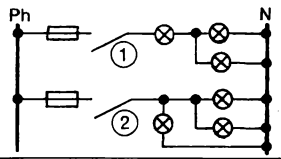
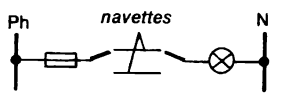
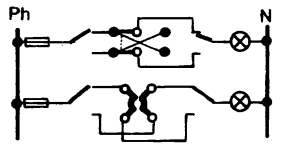
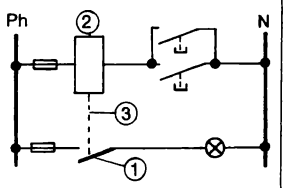
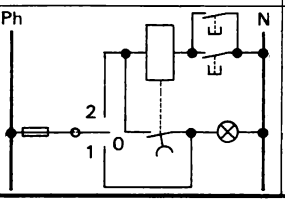
Luminaires utilisés pour les tubes fluorescents.

- Luminaire encastré avec grilles (fig. 17) et sans grille (fig. 18).
- Lustre à paralumes légèrement décollés du plafond (fig. 19).
- Lustre à paralumes en dessous (lustre ouvert dessus) (fig. 20).
- Réflecteur semi-direct (fig. 21) ou indirect (fig. 22).

VI - ÉCLAIRAGE

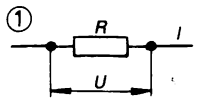
utilisation de l'énergie électrique

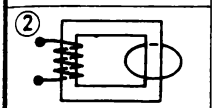
4. SCHÉMAS DE MONTAGE

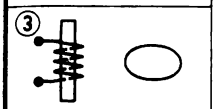
Fonction à remplir.	Schéma développé	Symbole des plans (1)		
		architecture	Multifilaire	Unifilaire
Commande d'un circuit à partir d'un seul point. **Simple allumage.** *(1)* Direct interrupteur. *(2)* Direct lampe. *(3)* Retour lampe.				
Commande simultanée ou séparée de deux circuits différents à partir d'un seul point. **Double allumage.** *(Lustres, vitrines, etc.)*				
Commande séparée de plusieurs circuits différents à partir d'un seul point. *(Double éclairage d'un local.)*				
Contrôle de la mise sous tension d'un circuit à l'aide de **lampes témoins.** *(Installations de caves, chambres frigorifiques.)* *(1)* **Montage série** *(2)* **Montage en dérivation**				
Commande d'un circuit à partir de deux points. **Va-et-vient.** *(Couloirs, entrées, chambres, montée d'escalier.)*				
Commande d'un circuit à partir de plusieurs points avec commutateurs. **Cage d'escalier.** *(Cage d'escalier, grand vestibule, couloir.)*				
Commande d'un circuit à partir de plusieurs points avec un interrupteur à commande électrique. **Télérupteur** (intervention manuelle sur l'un des boutons poussoirs pour la fermeture et l'ouverture du circuit). *(1)* Organe d'établissement et d'interruption de courant. *(2)* Dispositif électromagnétique. *(3)* Liaison mécanique.				
Minuterie (intervention manuelle pour la fermeture du circuit, ouverture automatique fonction du temps). *(Cages d'escaliers.)* position 1 : direct position 0 : arrêt position 2 : minuterie (1) Ces symboles sont en cours de révision à l'U.T.E.				

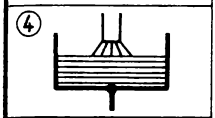
VI - CHAUFFAGE
utilisation de l'énergie électrique

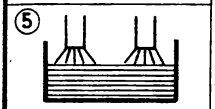
E. 90

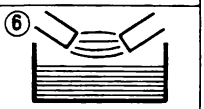


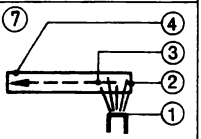




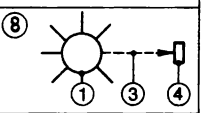


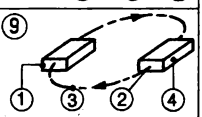


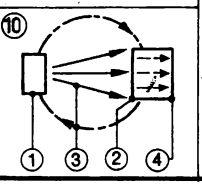




4. Partie froide.
3. Écoulement de la chaleur.
2. Partie chauffée.
1. Source de chaleur.







1. MODES DE PRODUCTION DE LA CHALEUR

Chauffage par résistance.

Application de la loi de Joule relative à la transformation de l'énergie électrique en énergie calorifique dans un conducteur parcouru par courant électrique.
La quantité de chaleur dégagée est donnée par l'expression $Q = 0{,}24\ RI^2t$ avec Q en μth. (ou calories), R en Ω, I en A et t en s (fig. 1).
Si le courant traverse directement la substance, le chauffage est interne. Si l'effet Joule est produit dans une résistance extérieure (corps de chauffe), le chauffage est externe.

Chauffage par induction.

Application de la loi de l'induction et de la loi de Joule. Création d'un courant induit dans une spire par suite d'une f.e.m. produite lorsqu'on provoque une variation de flux.

Appareils avec circuit magnétique fermé : transformateur alimenté en courant alternatif 50 Hz (fig. 2) ;

Appareils sans circuit magnétique fermé : transformateur alimenté en courant alternatif haute ou très haute fréquence (fig. 3).

Chauffage par arc.

Application des propriétés thermiques de l'arc.
— Arc direct (ou sur charge) se produisant entre les électrodes et la charge (fig. 4 et 5).
— Arc indirect (ou libre) jaillissant entre les électrodes sans toucher la matière à traiter (fig. 6).

Chauffage par rayons infrarouge.

Application des propriétés thermiques des rayons infrarouge.

2. MODES DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR

Conduction. Écoulement de la chaleur à travers un corps, directement de la partie chaude à la partie froide (fig. 7). Dépend de la nature du corps.
Bons conducteurs : cuivre, aluminium, fonte. Mauvais conducteurs : brique, liège, gaz.

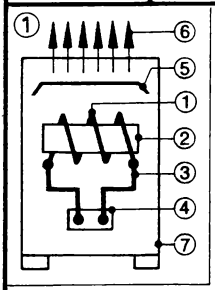
Radiation. Les corps soumis à la chaleur émettent des radiations calorifiques, invisibles ou visibles, à partir d'une certaine température.
L'énergie rayonnée dépend de la température, de la nature du corps et de l'état de surface. Surface brute : grand pouvoir émissif ; surface brillante : faible pouvoir émissif (fig. 8).

Convection. Propagation de la chaleur par le déplacement d'un fluide (liquide ou gazeux) élevé à une certaine température au contact d'un corps chaud (fig. 9).
Les températures différentes auxquelles sont soumis les fluides déterminent une différence de densité qui provoque son déplacement.

Mixte. Les trois modes de transmission précédents se manifestent généralement ensemble. Toute source de chaleur émet des radiations et transmet également sa chaleur par convection à l'air qui l'environne. Le corps s'échauffe également par conduction (fig. 10).

VI - CHAUFFAGE

utilisation de l'énergie électrique



3. APPAREILS DE CHAUFFAGE PAR RÉSISTANCE

Constitution générale des appareils domestiques (fig. 1).
(1) Organe de production de la chaleur (résistance chauffante) transformant l'énergie électrique en énergie calorifique;
(2) Support isolant : isole électriquement et maintient l'organe *(1)*;
(3) Liaison interne : relie *(1)* à la source de courant;
(4) Connecteur : assure la liaison électrique extérieure;
(5) Organe de protection électrique et thermique : protège contre le toucher (électrocution, brûlure, incendie);
(6) Organe de transmission de la chaleur;
(7) Bâti : supporte et fixe les organes constitutifs.

4. ÉLÉMENTS CHAUFFANTS

Conditions à réaliser.

Pour transformer l'énergie électrique en énergie calorifique avec le rendement maximum, il faut que les éléments chauffants (conducteurs, supports, accessoires) satisfassent à plusieurs conditions d'ordre physique, chimique et économique.

Conducteurs chauffants.

Caractéristiques.

- Résistivité ρ : élevée afin de limiter le courant et de réduire les dimensions de l'organe chauffant.
- Coefficient de température α : faible afin d'atténuer les variations de résistance et du courant et faciliter le réglage.
- Température de fusion : élevée afin d'obtenir des températures de fonctionnement élevées; doit rester supérieure à la température d'équilibre.
- Coefficient de dilatation : faible afin d'éviter les déformations pendant le fonctionnement.
- Résistance mécanique : bonne de manière à faciliter la pose et le montage.
- Inoxydabilité : bonne de manière à éviter la désagrégation par décollement de pellicule d'oxyde.
- Conductibilité thermique : très faible afin d'éviter les pertes de chaleur aux points de raccordement et la destruction de l'isolant.
- Homogénéité : bonne afin de faciliter l'élaboration du métal.
- Soudabilité : bonne afin de faciliter les réparations.

Nature des matériaux.

Alliages composés de fer, de nickel et de chrome.
Exemple :
— RNC1 - 35 % Nickel, 5 % Chrome, 65 % Fer (température maximale : 900° C).
— Tophet A - 80 % Nickel, 20 % Chrome (température maximale : 1 100° C).

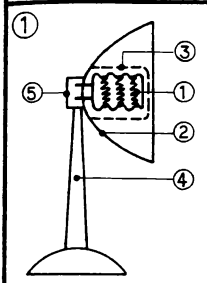
Isolants.

Caractéristiques.

- Rigidité diélectrique : élevée afin d'obtenir une grande isolation électrique.
- Conduction thermique : faible de manière à éviter les pertes de chaleur.
- Résistance mécanique : bonne de façon à résister aux chocs, à la compression et à la rupture, et faciliter le montage.
- Dilatation linéaire : faible de façon à éviter les déformations et les cassures.
- Température de ramollissement : élevée afin d'éviter les déformations et la désagrégation sous l'action de la chaleur.
- Hygroscopicité (faculté d'un corps d'absorber l'humidité) : faible afin d'éviter l'imprégnation des vapeurs d'eau.

Nature des matériaux.

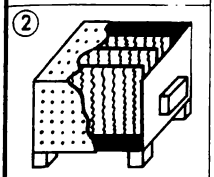
- Amiante, mica, porcelaine, produits poreux de formes diverses, magnésie, ciments spéciaux.



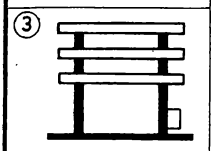
5. APPAREILS DE CHAUFFAGE UTILISÉS DANS LES APPLICATIONS DOMESTIQUES, COMMERCIALES ET ARTISANALES

5.1. **Chauffage des locaux.**

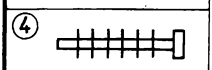
Locaux nécessitant un chauffage localisé ou d'**appoint** aux demi-saisons *(bureaux, cabinets de toilette).* Emploi de radiateurs à action immédiate *(incandescence).*
Radiateurs lumineux : paraboliques, de 300 à 800 W, une allure de chauffe (fig. 1).
Cheminée de 800 à 4000 W, une à trois allures de chauffe.
(1) Élément chauffant : résistance au nickel-chrome boudinée sur un élément en terre réfractaire en forme tronconique (à fiche démontable, à broche amovible ou à douille goliath) ; *(2)* Réflecteur parabolique, en tôle inoxydable ou en aluminium poli. Peut être inclinable ou orientable sur pied ; *(3)* Protecteur contre le toucher ; *(4)* Pied : peut être articulé ; *(5)* Connecteur.



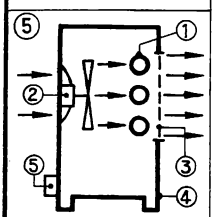
Chauffage général permanent.



• Radiateurs obscurs. La chaleur produite est douce et régulière. Plusieurs allures de chauffe (de 1 à 3 kW).
Résistance au nickel-chrome boudinée ou spiralée sur tubes réfractaires, sur plaques de fibro-ciment. Résistance à double spiralage isolée dans la magnésie.

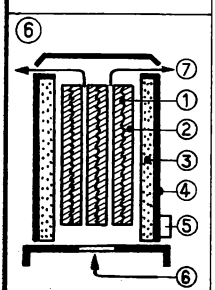


• Radiateurs sous capot (fig. 2), tubulaire lisse (fig. 3), à ailettes (fig. 4).

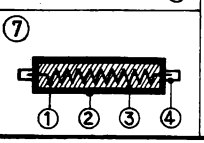


• Radiateurs soufflants. Chauffage rapide d'une pièce. Un ventilateur crée une circulation d'air continue au travers des résistances chauffantes et assure une répartition uniforme de la chaleur.
Plusieurs allures jusqu'à 3 kW.
fig. 5 : *(1)* Résistance boudinée sur terre réfractaire ; *(2)* Ventilateur à moteur monophasé ; *(3)* Protecteur ; *(4)* Carcasse ; *(5)* Connecteur.

Chauffage général indirect.



• Utilisation du courant de nuit à tarif réduit (pour raison d'économie).
Poêle à accumulation : appareil conçu pour n'être mis sous tension qu'aux heures creuses et assurer cependant en permanence le chauffage d'un local. Des briques réfractaires ou des blocs de fonte accumulent la chaleur pendant la charge (nuit) et la restituent par circulation d'air à la décharge.
Fig. 6 : *(1)* Résistance chauffante en fils ou rubans de nickel-chrome ; *(2)* Masse réfractaire ; *(3)* Enveloppe calorifuge ; *(4)* Carcasse ; *(5)* Connecteur ; *(6)* Entrée d'air réglable ou air soufflé ventilateur (pour accroître l'efficacité du chauffage) ; *(7)* Sortie d'air chaud.

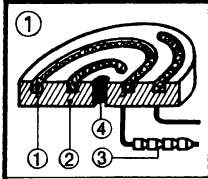


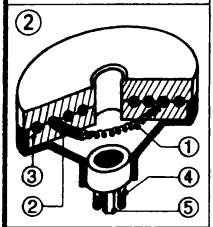
• Utilisation du courant à tarif réduit, mais coupure aux heures de pointe.

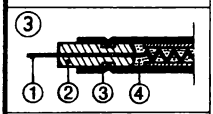
Radiateurs à récupération ou *semi-accumulation.* Aux heures de pointe, quand le courant est coupé, la matière accumulatrice cède la chaleur (2 à 3 h après la coupure du courant).
Fig. 7 : élément chauffant type « Calrod ». *(1)* Fil boudiné en nickel-chrome ; *(2)* Tube métallique rempli de magnésie en poudre *(3)* ; *(4)* Tige d'amenée de courant.

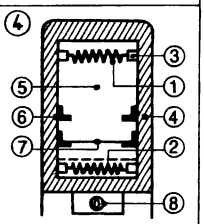
VI - CHAUFFAGE

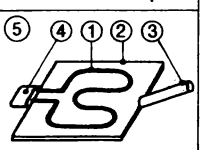
utilisation de l'énergie électrique

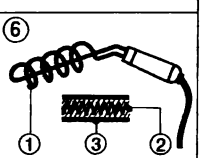


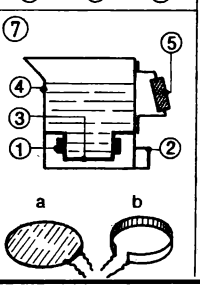












5.2. **Appareils de cuisson.**

Constitution générale des foyers de cuisson.

• à fil chauffant nu (fig. 1). *(1)* Résistance boudinée ; *(2)* Support en terre réfractaire ; *(3)* Extrémités de la résistance isolées par des pertes de stéatite et raccordées au connecteur ; *(4)* Trou pour fixation sur le bâti.

• à fil chauffant enrobé :
— plaque (fig. 2). *(1)* Fil chauffant ; *(2)* Matière isolante ; *(3)* Plaque (fonte ou acier) ; *(4)* Broches de connexion ; *(5)* Broche pour mise à terre.
— serpentin (fig. 3). *(1)* Fil chauffant. *(2)* Isolant (ciment, magnésie) ; *(3)* Enveloppe métallique protectrice ; *(4)* Ciment spécial ou porcelaine, stéatite. (Exemple d'un élément « Baker »).

Différents appareils.

• Réchaud de cuisine à un foyer : comporte un foyer de cuisson (fig. 1-2 ou 3), un support, un bâti, un connecteur et un commutateur s'il y a deux allures de chauffe (puissance 200 à 1 200 W).

• Réchaud à deux foyers : même constitution générale que ci-dessus. Quatre allures de chauffe par commutateur (puissance 600 à 2 400 W).

• Four de cuisine (fig. 4) : *(1)* Élément chauffant (voûte) avec broches ; *(2)* Élément chauffant (sole) avec broches ; *(3)* Support d'élément ; *(4)* Paroi calorifugée ; *(5)* Four ; *(6)* Support plaque. *(7)* Plaque à rôtir ; *(8)* Commutateur.
Plusieurs allures de chauffe : voûte seule, sole seule, voûte et sole en série. La porte est calorifugée et équilibrée.

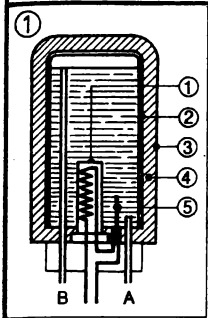
• Cuisinière : appareil mixte comportant four et foyers.

• Appareils divers :
— grille-viande (fig. 5) ; *(1)* Élément chauffant : serpentin (« Calrod », « Baker », etc.) ; *(2)* Grille-support ; *(3)* Poignée ; *(4)* Connecteur. Puissance 700 à 800 W.
— grille-pain ;
— gaufrier ;
— chauffe-plat à accumulation, etc.

5.3. **Chauffage des liquides.**

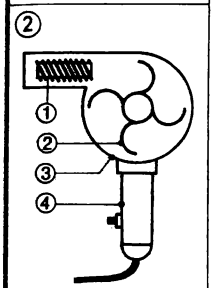
Thermo-plongeur (fig. 6). Chauffage rapide d'une petite quantité de liquide. *(1)* Corps de chauffe étanche comprenant : *(2)* Résistance chauffante et *(3)* Cylindre étanche en acier.
La puissance de ces appareils varie de 200 W *(1/4 de litre)* à 500 W *(1 litre)* et de 1 000 à 2 500 W pour les machines à laver sans chauffage.

Bouilloire électrique (fig. 7). Contenance 1/4 litre à 2 1/2 litres. Puissance de 200 à 800 W. *(1)* Corps de chauffe (fils résistants montés sur une matière réfractaire ou du mica) ; *(a)* disque ; *(b)* collier ; *(2)* Connecteur : extrémités de *(1)* aboutissant à deux broches isolées ; *(3)* Organe de transmission de la chaleur ; *(4)* Carcasse : récipient cylindrique (laiton nickelé, cuivre chromé sur nickel ou quelquefois aluminium) muni d'une poignée isolante *(5)* assurant la protection électrique et thermique.



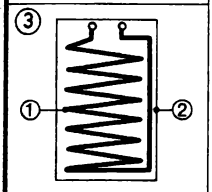
Chauffe-eau à accumulation (fig. 1). *(1)* Corps de chauffe : résistance enfermée dans une enveloppe étanche, amovible, fixée dans la cuve par vissage. Peut se retirer sans vider le chauffe-eau ;
(2) Réservoir cylindrique à double paroi : tôle d'acier semi-oxydable, soudée électriquement et éprouvée à une pression de 100 à 150 N/cm² ;
(3) Enveloppe extérieure généralement en acier émaillé ;
(4) Calorifuge : généralement liège aggloméré ;
(5) Thermostat monté en série avec *(1)* : provoque la coupure ou l'établissement du courant selon la température de l'eau (80 °C environ).
(A) arrivée d'eau froide. *(B)* sortie d'eau chaude.

Divers types :
— mural (de quelques litres à 150 litres).
— sur socle (de 100 litres à plusieurs milliers de litres).
— horizontal (125 litres et plus).
Utilisation du courant monophasé pour les puissances inférieures à 1 200 W environ, triphasé au-dessus.

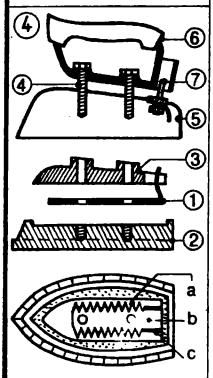


5.4. Toilette-Soins corporels.

Sèche-cheveux (fig. 2). *(1)* Élément chauffant ; *(2)* Ventilateur centrifuge entraîné par un moteur électrique du type universel ; *(3)* Carter ; *(4)* Manche isolant.
Un commutateur permet les combinaisons suivantes : arrêt, air froid, air chaud.
Deux modèles : portatif *(usage domestique)*, stable *(coiffeur)*.

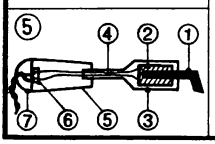


Tissus chauffants ou thermoplasmes (fig. 3). *(1)* Fil d'amiante isolant et incombustible ; trame faite d'un fil métallique résistant ; *(2)* Tissu enrobé dans une enveloppe à la fois imperméable et isolante.
Régulation de la température par thermostat.



5.5. Divers.

Fer à repasser (fig. 4).
(1) Élément chauffant. Détail : *(a)* fil ou ruban étroit et mince de nickrome enroulé sur des lames de mica. *(b)* lames de mica isolant, protégeant et maintenant *(a)* (même forme que celle de la semelle). *(c)* connexion (deux lamelles de laiton). *(2)* Semelle en acier ; *(3)* Masselotte (contreplaque en fonte accumulant la chaleur) ; *(4)* Tiges filetées fixées à *(2)* et permettant de serrer fortement *(1)* contre *(2)* et *(3)* de même que *(5)* et *(6)* ; *(5)* Capot de protection avec broches d'amenée du courant ; *(6)* Monture avec poignée en matière isolante et repose-pouce ; *(7)* Broches.
Des fers automatiques comportent sur la poignée un thermostat réglable permettant d'obtenir des températures comprises entre 150 et 200 °C environ (repassage de diverses étoffes).



Fer à souder (fig. 5). *(1)* Panne en cuivre rouge (droite ou coudée) ; *(2)* Résistance enrobée dans la stéatite ; *(3)* Corps du fer ; *(4)* Conducteurs d'amenée du courant à *(2)* ; *(5)* Poignée avec manche démontable *(7)* ; *(6)* Raccord électrique.
Suivant l'utilisation (artisanale, industrielle ou domestique), les formes, tailles et puissances sont variables.

VI - CHAUFFAGE

utilisation de l'énergie électrique

6. APPAREILS DE CHAUFFAGE UTILISÉS DANS LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES.

6.1. Chauffage des solides.

Applications principales : fusion ou ramollissement d'un corps (fusion, soudage), changement de forme, modification des propriétés physiques ou chimiques, chauffage en vue d'assurer un transport de calories.

Fusion des métaux et alliages.

- Alliages ferreux (acier et fonte) :

— fours à arc triphasés ou monophasés (grosse production de lingots de forge et de laminage et petite production d'acier de nuances diverses) ;

— fours à résistance, fours à induction à haute fréquence avec alternateur (aciers dits « au creuset » et aciers inoxydables) ou éclateur (laboratoires).

- Nickel et alliages nickel-chrome avec ou sans fer : fours à arcs et fours à induction HF.
- Cuivre et alliages cuivreux :

— fours à induction B.F., à noyau magnétique fermé (cuivre, laiton, bronze) ;

— fours à induction HF, circuit magnétique ouvert (bronze maillechort) ;

— fours à résistance (bronze, cuivre).

- Alliages légers (aluminium) et ultra-légers (alliages au magnésium) :

— fours à résistances métalliques ou non (carbure de silicium) ;

— fours à induction BF et HF.

- Autres métaux blancs : chauffage par résistance et par induction BF (plomb, zinc, étain).

Soudage et brasage

- Soudage autogène (par résistance ou à l'arc) - Voir tableau ci-dessous.
- Soudage hétérogène (soudure forte ou brasure, soudure tendre ou au fer chaud).
- Brasage : fours pour brasage (outils en carbure de tungstène ou en acier rapide rapporté) ; machines à braser (brasage éléments en cuivre, fils, plaquette de carbure de tungstène, etc.).
- Soudage ordinaire (soudure tendre) : fer à souder, machines spéciales.

Procédés			Appareils utilisés	Métaux traités	Emplois
Soudage par résistance	à recouvrement	par points.	Machines à souder par points, pinces à souder.	Tous métaux sauf cuivre rouge.	Fabrications (notamment de série). *Avantages.* Poids de matière chauffée, réduit au minimum; rendement thermique élevé ; consommation d'énergie électrique faible ; opération rapide ; conservation des qualités du métal. *Remarques :* emploi du courant alternatif avec ou sans accumulation électrique (par inductance ou condensateur).
		par molettes.	Machines à souder à molettes		
		par bossages.	Presses à souder.		
	bout à bout ou par rapprochement avec chauffage.	par résistance, par étincelage, par approches combiné	Machines à souder par rapprochement.	Tous métaux, notamment fils en aluminium.	
				Surtout aciers doux et rapides.	
Soudage à l'arc.			Groupes rotatifs généralement polyphasés. Redresseurs. Postes statiques monophasés.	Surtout aciers et fontes. Alliages légers.	Grosses constructions et réparations. *Avantages :* pas de chauffage des pièces à souder. Qualité supérieure des soudures *Remarques.* Soudage manuel ou automatique. Emploi d'électrodes en charbon ou en métal. Emploi du courant continu ou alternatif.

Traitements thermiques et chimiques.

• Traitements thermiques des métaux et de leurs alliages.
— Chauffage par résistance : emploi de fours de tous types, de toutes dimensions et de toutes puissances à résistances métalliques.
— Chauffage par induction à très haute fréquence et éventuellement à haute fréquence procurant les avantages suivants : chauffage localisé (moindre consommation), homogénéité, constance, rapidité, qualité.

• Traitements chimiques de diverses substances : polymérisation, oxydation, bakélisation, vulcanisation, etc.
— Appareils utilisés : presses à plateaux chauffés électriquement, moules chauffés électriquement, plateaux et plaques, cylindres, etc.

• Cuisson : de la céramique, des produits alimentaires.

Applications particulières.

• Découpage électrique (fer, acier, fonte). Procédé analogue au soudage à l'arc (emploi d'électrodes enrobées et d'électrodes creuses).

• Gravure électrique : emploi d'un transformateur avec deux électrodes sur le secondaire.

• Métallisation au pistolet : métal volatilisé au moyen d'un pistolet à air comprimé et à chauffage électrique.

6.2. Chauffage des liquides.

Volatilisation d'un corps.

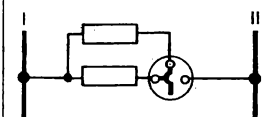
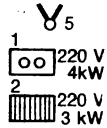
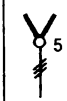
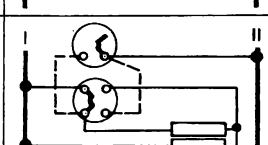
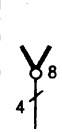
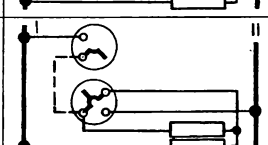
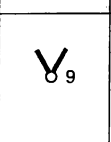
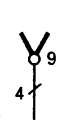
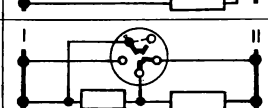
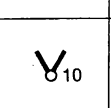
• Production de vapeur d'eau.
Chauffage par résistance (chaudière à électrodes : l'eau est parcourue par le courant amené par des électrodes métalliques plongeantes. Chaudière à résistance proprement dite : éléments chauffants immergés).

• Production d'eau distillée.
Chauffage par résistances extérieures ou immergées (chaudières, alambics, etc.).

• Stérilisation.

Séchage. Vaporisation d'eau, évaporation de solvants (vernis) ou d'autres liquides. Chauffage par résistances (étuves) ou par rayons infrarouges (principal avantage : la rapidité de séchage).

7. SCHÉMAS DE MONTAGE

Fonction à remplir	Schéma développé	Symbole des plans(1)		
		Architectural	Multifilaire	Unifilaire
Commande simultanée ou séparée de deux circuits différents *(radiateurs, cuisinières).* 1. Appareil de cuisson. 2. Appareil de chauffage.				
Commande séparée ou en série de deux circuits différents *(cuisinières).*				
Commande de deux circuits en série, en dérivation et de l'un des deux *(chauffage, cuisson).*				
Commande de deux circuits : — séparément ; — en dérivation ; — en série.				

(1) Ces symboles sont en cours de révision à l'U. T. E.

E. 97 — VI - SIGNALISATION

utilisation de l'énergie électrique

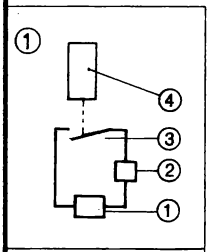
1. ROLE

Transmettre un signal à distance.

Exemples :

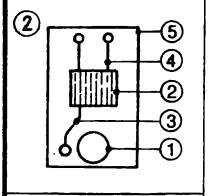
— Appel : pour demande d'ouverture de porte.
— Signal de position : indication d'ouverture ou de fermeture d'un appareil de commande.
— Sécurité : avertisseur d'incendie, de vol.
— Distribution de l'heure.

La signalisation peut être sonore (emploi d'une sonnerie), visuelle (emploi de voyants mécaniques, de lampes), mixte (sonore et visuelle).



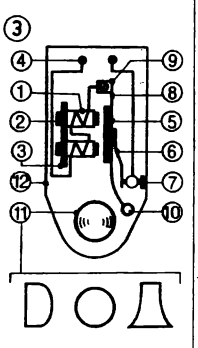
2. CONSTITUTION DES CIRCUITS DE SIGNALISATION (fig. 1).

(1) Organe d'avertissement : sonnerie, lampe. *(2)* Source de courant : secteur, piles, accumulateurs. *(3)* Organe d'établissement et d'interruption du circuit renfermant *(1)* : contact. *(4)* Organe à contrôler : porte, contacteur, etc.



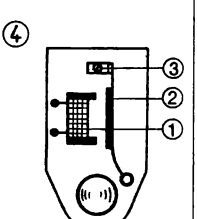
3. CONSTITUTION DES APPAREILS SONORES (fig. 2).

(1) Organe sonore : cloche, timbre, etc; *(2)* Organe moteur : sonnerie (électro-aimant); sirène (moteur); *(3)* Organe transmettant l'énergie de *(2)* à *(1)*; *(4)* Organe de raccordement : relie *(2)* à la source extérieure et aux appareils de commande; *(5)* Support : maintient l'ensemble des organes.



4. DIFFÉRENTS TYPES DE SONNERIES.

Sonneries trembleuses à coupure de courant (fig. 3). *(1)* Bobines : fils isolés au coton, à la soie, ou émaillés. *(2)* Noyaux polaires comportant une pastille de cuivre afin d'éviter le collage de l'armature *(5)* (flux rémanent subsistant dans les noyaux). *(3)* Culasse; *(4)* Bornes; *(5)* Armature mobile en acier doux; *(6)* Contact d'armature s'appuyant, au repos, sur un contact réglable *(7)*; *(7)* Vis de réglage en laiton;
L'ensemble *(6)* *(7)* forme un interrupteur fermé au repos (pastille d'argent afin d'éviter l'oxydation de l'acier et du laiton par les étincelles); *(8)* Ressort armature : lame d'acier supportant l'armature et la maintenant en contact avec *(7)*; *(9)* Support de l'armature; *(10)* Marteau; *(11)* Timbre; *(12)* Support boîtier en tôle émaillée, bois ou matière moulée.
Fonctionnement. En fermant le circuit des bobines, l'armature *(5)* est attirée et le marteau vient frapper le timbre; lors de ce déplacement, le contact *(6)* *(7)* s'est rompu et le courant ne passe plus dans *(1)*. L'armature revient à sa position initiale, ce qui provoque la fermeture du contact *(6)* *(7)*. Les bobines sont alimentées et le cycle recommence jusqu'au moment où l'on cesse d'agir sur le poste de commande *(bouton-poussoir, par exemple)*.

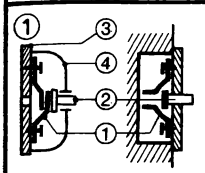


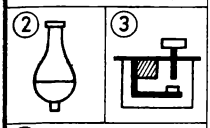
Sonneries sans coupure de courant ou antiparasites (fig. 4).
Si l'on alimente la bobine *(1)* en courant alternatif (TBT ou BT), l'armature *(2)* est attirée. L'intensité des vibrations dépend de la fréquence du courant. Le support d'armature est réglable en *(3)*.

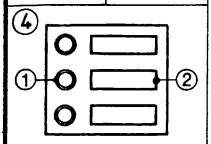
Sonneries sans timbre, dites *« Ronfleurs »* : sonneries sans marteau, généralement à vibration grave.

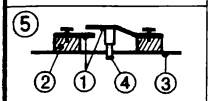
Sonneries d'annonce « coup à coup » (fig. 3) : bobines insérées directement dans le circuit, sans passer par *(6)* et *(7)* *(chariots électriques)*.

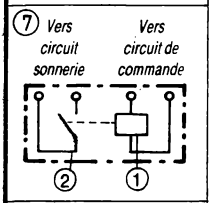
Cloches, avertisseurs (vibreur, H.F., à moteur), **sirènes** *(moteur universel, moteur à courant ~ triphasé)*. Signalisation industrielle.

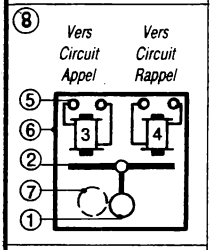


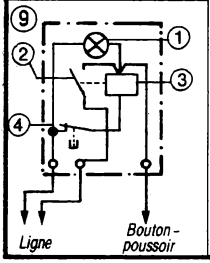












5. APPAREILLAGE ET ACCESSOIRES

5.1. **Commande de sonneries.**

Boutons-poussoirs (fig. 1).

— Ordinaires, sur monture en bois, matière moulée, porcelaine, marbre ou fonte. Types en saillie ou encastré. Ce sont des interrupteurs ouverts au repos.
(1) Contacts ; *(2)* Bouton ; *(3)* Socle ; *(4)* Couvercle.
— Poires (fig. 2).
— Pédales pour parquet (fig. 3).
— Divers : boutons poussoirs dits « presse-papiers » ; tirage par cordon, à pompe ou à barillet, etc.
— Plaque comportant un ou plusieurs boutons *(1)* et des porte-étiquettes *(2)* (fig. 4).

Contacts.
— A feuillure : simple, à poussoir, pour porte (circuit ouvert ou fermé au repos) (fig. 5). *(1)* Lamelles flexibles, grains d'argent ; *(2)* Isolant ; *(3)* Plaque cadmiée ; *(4)* Poussoir (ou bille, ou piston).
— De passage (fig. 6) : actionne une sonnerie quand la porte s'ouvre ou se ferme.
— Équerre pour grille, à tige et à roulette.

Sources de courant.
— Transformateurs spéciaux pour sonneries : faible consommation à vide ; primaire 220 V, secondaire 8-12-24 V.
— Piles sèches, piles Leclanché à vase poreux ou à sac.
— Batteries d'accumulateurs.

Relais : appareil intermédiaire utilisé pour fermer à distance un circuit dans lequel l'intensité du courant est assez élevée (fig. 7).
(1) Bobine ; *(2)* Contact.
Le circuit de la bobine est ouvert au repos et fermé momentanément lorsqu'on appuie sur le bouton poussoir ou lorsque le contact se ferme.

5.2. **Appel sonore et visuel avec maintien de l'indication d'origine.**

Tableaux annonciateurs d'appels.

• **à voyants mécaniques attractifs** (fig. 8).
(1) Voyant indiquant d'où provient l'appel ; *(2)* Armature faisant apparaître ou disparaître *(1)* ; *(3)* Bobine d'appel attirant *(2)* et faisant apparaître *(1)* dans l'ouverture *(7)* ; *(4)* Bobine de rappel faisant disparaître *(1)* ; *(5)* Bornes pour liaison avec le circuit extérieur ; *(6)* Support d'organes.

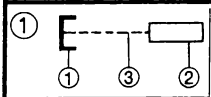
• **à voyants lumineux** (fig. 9).
(1) Lampe de signalisation ; *(2)* Contact ouvert au repos ; *(3)* Bobine alimentée lorsqu'on appuie sur le bouton poussoir, le contact *(2)*, attiré, assure la continuité du circuit lorsqu'on lâche le bouton poussoir ; *(4)* Bouton d'arrêt fermé au repos (ou jack) permettant l'extinction de *(1)* par coupure de *(3)*.

5.3. **Alarme électrique.**

Utilisée pour avertir d'un danger *(tentative d'effraction, incendie)*.
Les installations d'alarme comprennent généralement : un circuit *appareil avertisseur* (lampe ou sonnerie, source de courant, contacts commandés par la bobine d'un relais) et un circuit *commande de la bobine du relais* : bobine, source de courant, organes de commande (contacts, cellule photo-électrique, etc.).

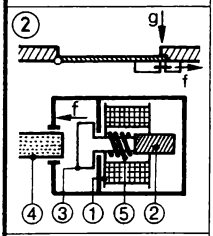
VI - SIGNALISATION

utilisation de l'énergie électrique

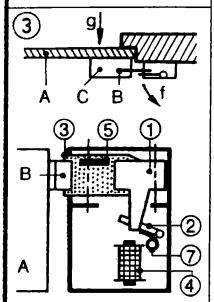


6. OUVERTURE DE PORTE

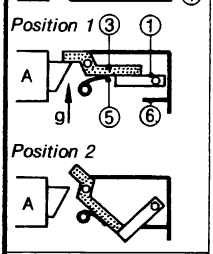
Emploi d'un dispositif électro-mécanique commandé à distance.
Symbole de la gâche électrique (fig. 1). *(1)* Organe mécanique assurant l'ouverture de la porte ; *(2)* Organe électrique (électro-aimant) agissant sur *(1)* et commandé à distance ; *(3)* Organe mécanique assurant la liaison entre *(1)* et *(2)*.



Gâche à piston pousse-pêne (fig. 2). La bobine *(1)* étant parcourue par un courant, le noyau plongeur *(2)* est attiré et pousse, suivant *(f)*, le piston *(3)*. Ce piston dégage, hors de la gâche, le pêne *(4)* de la serrure. La porte s'ouvre sous l'action d'un ressort agissant suivant *(g)*.
Quand le courant est coupé, le piston *(3)* et le noyau *(2)* reprennent leur position sous l'action du ressort de rappel *(5)*.



Gâche à butée pivotante (fig. 3).
Position 1. La porte A est fermée. Le pivot mobile *(1)* est maintenu par la palette *(2)* et bloque la gâche mobile *(3)*. Le pêne (B) de la serrure (C) exerce une poussée *(f)* sur *(3)* (ressort agissant sur la porte).
Position 2. La bobine *(4)* est parcourue par un courant. La palette *(2)*, attirée, libère *(1)* qui débloque *(3)*. *(3)* pivote sur son axe, sous la pression *(g)* du pêne *(b)* qui se dégage. Sous l'action de *(5)*, *(3)* reprend sa position initiale, ainsi que *(1)* resté en équilibre grâce à *(6)*. *(2)*, dès l'arrêt du passage du courant dans la bobine, reprendra sa position *(1)*, grâce à *(7)*.

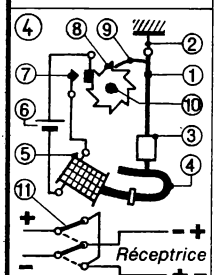


7. DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE DE L'HEURE

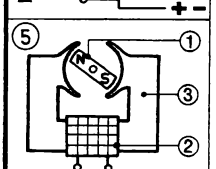
Ensemble des dispositifs employés pour mouvoir, entretenir ou régler électriquement à distance un certain nombre d'horloges.

- **Types** : à balancier, à aimant tournant ou basculant, à moteur synchrone, à remontage électrique.

- **Distribution par horloge-mère à balancier** : horloge chargée de produire les émissions de courant nécessaires à l'entretien et au réglage de toutes les horloges réceptrices (impulsions de courant périodique, alternativement inversées).



— **Horloge-mère ou régulateur** (fig. 4) : *(1)* Tige de balancier pivotant en 0, à l'aide d'un ressort *(2)* ; *(3)* Masse pendulaire réglable (avance ou retard) ; *(4)* Aimant permanent ; *(5)* Bobine d'attraction ; *(6)* Pile d'alimentation ; *(7)* Contact de la bobine ; *(8)* Roue à rochet poussé par le cliquet *(9)* (monté sur *(1)*) agit sur *(7)* ; *(10)* Mécanisme d'horlogerie monté sur *(8)*, actionne une trotteuse *(seconde)*, une grande aiguille *(minute)* et une petite aiguille *(heure)*. *(11)* Inverseur entraîné par un excentrique monté sur l'axe de la trotteuse *(inverse le courant deux fois par minute)*.

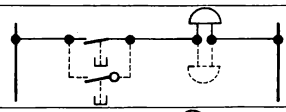
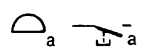
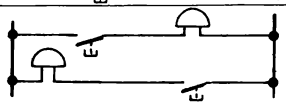
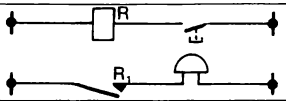
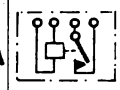
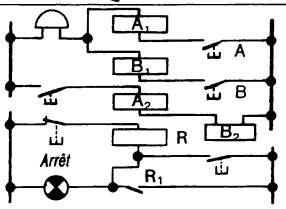
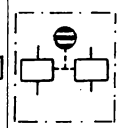
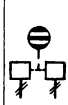
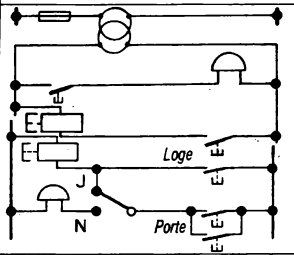
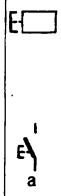
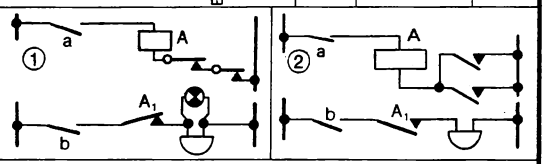
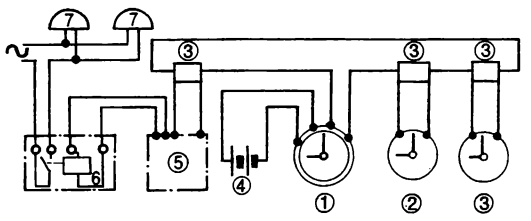


— **Horloge réceptrice** (fig. 5) : type à relais polarisé. *(1)* Aimant permanent pivotant sur l'axe des rouages qui entraînent les aiguilles ; *(2)* Bobine recevant les impulsions de courant continu alternativement inversé (attraction et répulsion produisent des oscillations alternées) ; *(3)* Circuit magnétique.

VI - SIGNALISATION
utilisation de l'énergie électrique

E.100

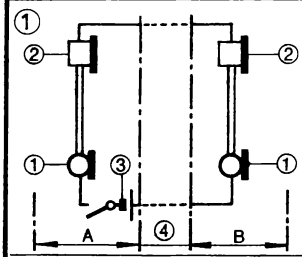
8. SCHÉMAS DE MONTAGE

Fonction à remplir	Schéma développé	Symboles des plans		
		Architectural	Multifilaire	Unifilaire
Commande d'une ou plusieurs sonneries, à partir d'un ou plusieurs points.				
Commande séparée de deux sonneries, à partir de deux points : « *demande et réponse* ».				
Commande d'une ou plusieurs sonneries par relais.				
Installation de *tableaux annonciateurs* : — à voyants mécaniques A et B : boutons d'appel: — à voyants lumineux.				
Appel sonore et ouverture automatique d'une porte. — Sonneries commandées à partir de la porte d'entrée d'un immeuble et gâche commandée à partir d'un des étages. — Service « jour » et « Nuit ». Boutons porte immeuble. N : S, J : G Bouton loge. N : G, J : G				
Alarme électrique. Sonnerie commandée par relais et contacts à fonctionnement : — par rupture (fig. 1). — par fermeture (fig. 2).				
Distribution de l'heure. Sonneries et horloges commandées par régulateur principal (horloge mère) et appareil à sonnerie d'appel. *(1)* Horloge mère ; *(2)* Horloges réceptrices ; *(3)* Rosaces à shunt ; *(4)* Batterie de piles ; *(5)* Appareil à sonnerie d'appel ; *(6)* Relais pour sonneries ; *(7)* Sonneries.				

E. 101

VI - TÉLÉPHONIE

utilisation de l'énergie électrique

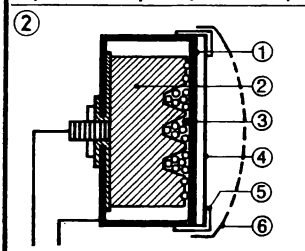


1. BUT DE LA TÉLÉPHONIE

Transport à distance de la parole (circuit de transmission de la voix et circuit d'appel).

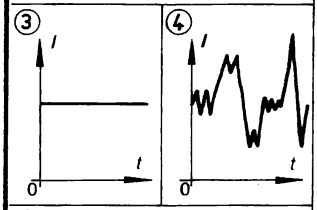
2. CIRCUIT DE TRANSMISSION DE LA VOIX (fig. 1).

Constitution. (1) Microphone : organe émetteur, transformant les sons en courants téléphoniques ; *(2)* Écouteur : organe récepteur transformant les courants téléphoniques en sons. *(1) + (2)* : combiné ; *(3)* Source de courant continu ; *(4)* Ligne conductrice reliant les deux postes *(A)* et *(B)*.

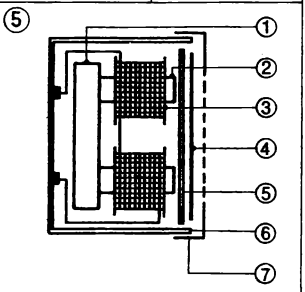


3. MICROPHONE A GRANULES DE CHARBON

Constitution (fig. 2). *(1)* Disque de charbon : plaque vibrante ; *(2)* Charbon et grenaille de charbon *(3)* ; *(4)* Mica ; *(5)* Boîtier en matière moulée ; *(6)* Couvercle protecteur percé de petits trous ; *(1) + (2) + (3)* : Capsule microphonique amovible.

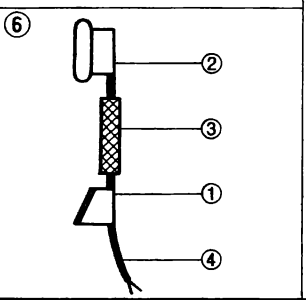


Fonctionnement. Le courant d'une source à courant continu traverse le microphone entre *(1)* et *(2)*, par *(3)*. Il est constant (fig. 3). Les vibrations de *(1)* compriment plus ou moins la grenaille de charbon *(3)*. La résistance électrique du microphone se trouvant modifiée, il en résulte des variations de l'intensité du courant le traversant.
Le courant microphonique est *modulé* (100 à 4 000 ondulations par seconde selon la hauteur du son) par ce son (fig. 4).



4. RÉCEPTEUR TÉLÉPHONIQUE OU ÉCOUTEUR.

Constitution (fig. 5). *(1)* Aimant permanent (un ou deux anneaux plats) ; *(2)* Pièces polaires (noyaux nord et sud) diamétralement opposées ; *(3)* Bobines montées sur *(2)* et reliées en série (résistance de chaque bobine $\approx 65\ \Omega$) ; *(4)* Plaque vibrante métallique : armature du dispositif magnétique, en tôle d'acier doux ; *(5)* Anneau en laiton ($e \approx 0{,}3$ mm) ; *(6)* Boîtier en laiton ; *(7)* Couvercle en matière moulée (pavillon).



Fonctionnement. Au repos, un courant continu circule dans la bobine *(3)* ; la plaque *(4)* est attirée par les pôles de l'aimant. Lorsque le courant modulé parcourt les bobines, celles-ci modifient l'aimantation des pièces polaires *(2)*. La plaque *(4)*, soumise aux variations d'aimantation (attractions magnétiques variables), vibre et reproduit les sons émis par le microphone.

Remarques (fig. 6). Le microphone *(1)* et le récepteur *(2)* sont combinés de manière à rendre leur utilisation plus facile ; *(3)* Poignée isolante ; *(4)* Cordon souple à deux, trois ou quatre conducteurs selon le montage.

5. PRINCIPALES INSTALLATIONS TÉLÉPHONIQUES

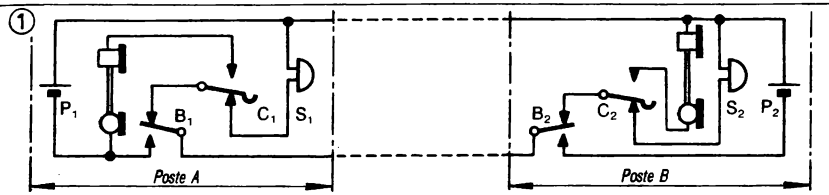
5.1. **Installation téléphonique à circuit primaire** : communications à moins de 500 m (téléphonie intérieure, privée).

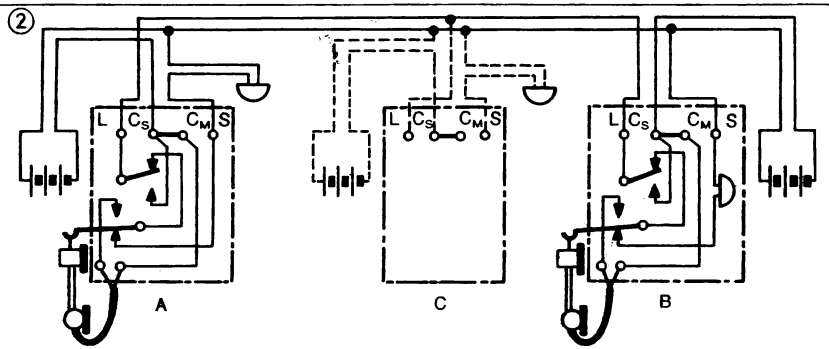
Montage avec une batterie de piles par poste et deux conducteurs.

Schéma de principe (fig. 1).

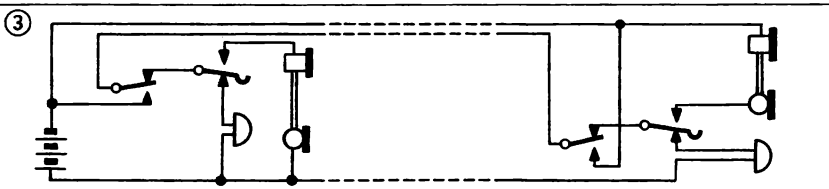
En appuyant momentanément sur le bouton d'appel B_1, le circuit de la sonnerie S_2 se ferme (— P_1, B_1, B_2, C_2, $S_2 + P_1$) ; S_2 retentit. On décroche les commutateurs à crochet C_1 et C_2 aux postes A et B. Le circuit voix se ferme (— P_1, combiné A, C_1, B_1, B_2, C_2, combiné B, $+ P_1$) ; la communication téléphonique est possible. En raccrochant C_1 et C_2, les circuits voix et appel sont coupés.

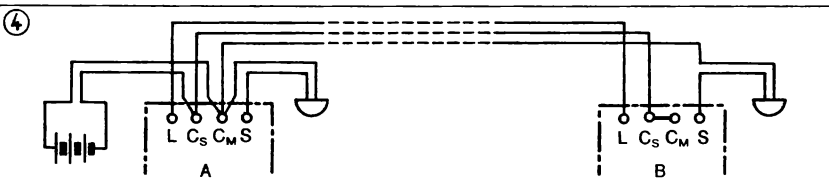
Schéma multifilaire (fig. 2) A : poste avec sonnerie extérieure. B : poste avec sonnerie intérieure. C : poste supplémentaire branché sur la ligne.





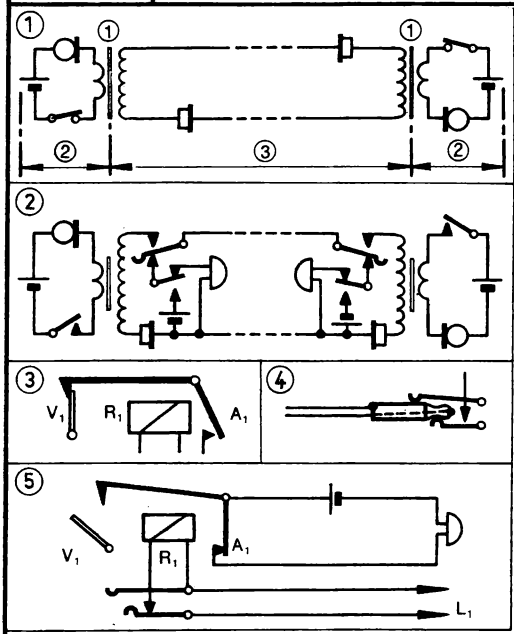
Montage avec une batterie centrale à un poste et trois conducteurs.





VI - TÉLÉPHONIE

utilisation de l'énergie électrique



(2) Circuit primaire microphonique. Pile + microphone + primaire de *(1)*.
(3) Circuit secondaire d'écoute. Secondaire de *(1)* + écouteurs + ligne.

Schéma du circuit microphonique et du circuit d'appel (fig. 2).

5.3. **Poste central d'intercommunication** avec standard manuel.

Les appareils téléphoniques particuliers sont reliés, par la ligne, au tableau commutateur (ou standard) d'un poste central destiné à recevoir les appels et assurer la liaison entre ceux-ci.

Fig. 3 : appareil au repos, volet V_1 fermé.

Fig. 4 : L_1 appelle, le relais R_1 attire l'armature A_1 : le volet V_1 tombe, la sonnerie retentit.

Fig. 5 : une fiche introduite dans le jack permet d'entrer en communication avec la personne qui appelle. Pour assurer la liaison téléphonique entre deux postes L_1 L_2, par exemple, l'opérateur place dans les jacks correspondants deux fiches reliées par un cordon.

5.2. **Installation à circuit secondaire :**
communications à plus de 500 m (Administration des PTT, intercommunications à grande distance).

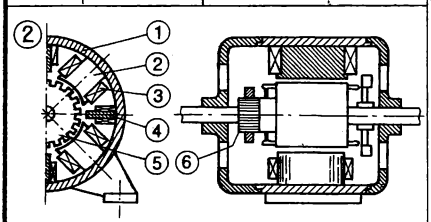
Schéma de principe du circuit microphonique (fig. 1). *(1)* Transformateur. Noyau droit (faisceau de fils de fer).
Bobine primaire ($r \approx 1\ \Omega$).
Bobine secondaire ($r \approx 100\ \Omega$).

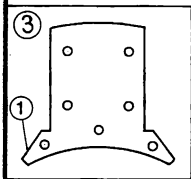
5.4. **Téléphonie automatique.** Le poste central moderne dispose d'un autocommutateur : grâce à celui-ci, un appareil à cadran chiffré *(émetteur d'impulsions cadencées)* permet d'appeler directement le correspondant. L'autocommutateur comprend des relais et des commutateurs rotatifs : chercheurs, sélectionneurs, connecteurs. 6. PRINCIPAUX SYMBOLES d'après la norme NFC 03-105 (U.T.E.).

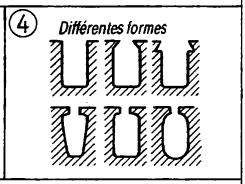
	Résistance (symbole général).		**Condensateur** (symbole général).		**Sonnerie** (symbole général).
R	**Résistance sans inductance ni capacité.**		**Récepteur téléphonique** (symbole général).		**Sonnerie à courant continu.**
L	**Inductance ou bobine de réactance** (symbole général).		**Microphone** (symbole général).		**Sonnerie à courant alternatif.**
			Combiné.		
L	**Inductance à noyau ferromagnétique.**				**Ronfleur.**
	Transformateur (symbole général).	G	**Magnéto.**		**Relais** (symbole général).

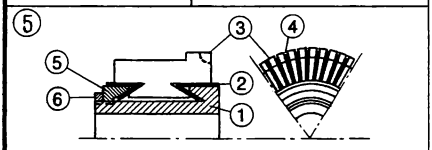
VI - FORCE MOTRICE
utilisation de l'énergie électrique

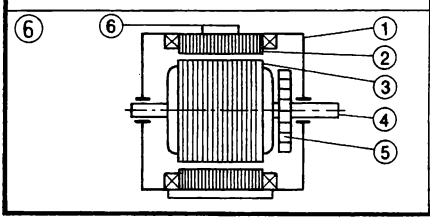
Parties	Organes	Fonctions
Mécanique.	Arbre.	Transmet le couple et supporte le circuit magnétique.
	Paliers.	Guident l'arbre.
	Flasques.	Supportent les paliers.
	Carcasse.	Supporte le circuit magnétique fixe.
	Ventilateur.	Refroidit les enroulements.
Magnétique.	Circuit magnétique.	Canalise les lignes de force et supporte les bobines induites et inductrices.
Électrique.	Enroulements.	Créent une induction où sont le siège d'une induction.
	Plaque à bornes.	Assure la liaison électrique.
	Balais et collecteur (ou bague).	Assurent la liaison électrique entre l'élément fixe et l'élément mobile.











1 CONSTRUCTION DES MACHINES Constitution des machines électriques (fig. 1).

2. MACHINES TOURNANTES À COURANT CONTINU (fig. 2).

2.1. **Ensemble inducteur.**

(1) Carcasse ou cuirasse : acier moulé ou soudé, fonte ; forme circulaire cuirassée.

(2) Novaux polaires : généralement feuilletés (empilage de tôles au silicium isolées entre elles par l'oxydation naturelle). Forme : fig. 3. *(1)* Épanouissement polaire.

• *Bobinage inducteur.*

(3) Bobinages principaux : fil de cuivre rond, émaillé, dont la section et le nombre de spires varient avec l'importance de la machine et son type d'excitation.

Pour les machines importantes on utilise des barres de cuivre enroulées à plat ou sur champ.

(4) Bobinages auxiliaires : enroulement de grosse section.

Enroulements de compensation : barres de cuivre disposées dans les encoches réparties sur l'épanouissement polaire.

2.2. **Ensemble induit** [fig. 2 *(5)*]. Tambour possédant des encoches (fig. 4) dans lesquelles passent des conducteurs en cuivre, isolés, ou des barres.

2.3. **Collecteur, balais, porte-balais** [fig. 2 *(6)*].

Fig. 5 : *(1)* Manchon ; *(2)* Cône isolant ; *(3)* Lame ; *(4)* Entrelame (mica) ; *(5)* Cône de serrage ; *(6)* Écrou de serrage.

3. MACHINES TOURNANTES À COURANT ALTERNATIF (moteurs asynchrones triphasés).

Fig. 6 : *(1)* Carcasse ; *(2)* Stator ; *(3)* Rotor ; *(4)* Arbre ; *(5)* Ventilateur ; *(6)* Plaque à bornes.

3.1. **Ensemble statorique.**

• *Carcasse :* support du circuit magnétique et de l'ensemble du moteur par les flasques-paliers (fonte, acier laminé roulé, alpax).

• *Circuit magnétique fixe :* empilage de tôles en acier au silicium, isolées et serrées entre deux plateaux. Rainures permettant de loger l'enroulement.

Bobinage en fil de cuivre isolé à l'émail synthétique ; bobines préfabriquées.

3.2. **Rotor.**

• *Partie magnétique tournante :* tôles identiques à celles du stator. Encoches ouvertes ou semi-fermées (rotor bobiné).

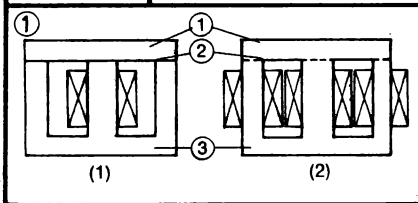
• *Bobinage.* Pour les moteurs à rotor en court-circuit on injecte de l'aluminium (sous pression) liquide dans les encoches. Pour les moteurs à rotor bobiné on utilise des fils ou des barres de cuivre.

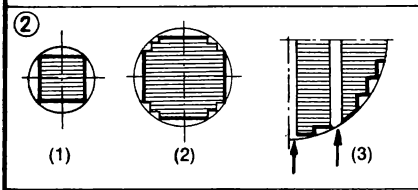
3.3. **Bagues, balais, porte-balais.**

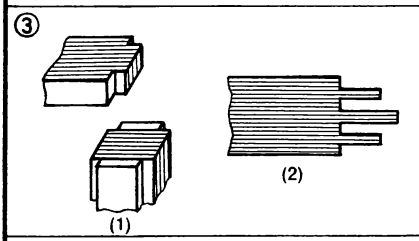
3.4. **Refroidissement :** naturel, forcé (ventilateurs).

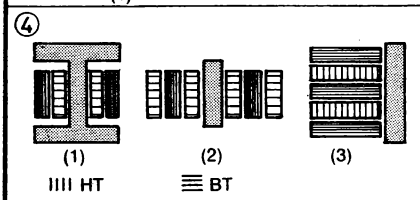
VI - FORCE MOTRICE

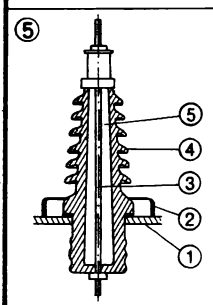
utilisation de l'énergie électrique

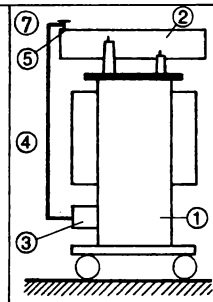


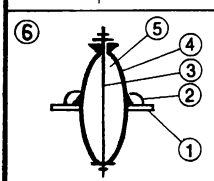


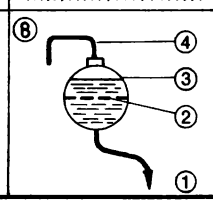












4. CONSTRUCTION DES MACHINES STATIQUES

Transformateur de puissance (triphasé à H.T.).

Circuit magnétique.

Feuilleté en tôle d'acier au silicium, ou à cristaux orientés.

Circuits à colonnes (fig. 1-1); circuits cuirassés (fig. 1-2). *(1)* Culasse; *(2)* Joint; *(3)* Colonnes.

— Colonnes. Section carrée pour transformateurs de faible puissance, section circulaire pour grande puissance (fig. 2). *(1)* Section carrée; *(2)* Section à gradins; *(3)* Canaux de circulation d'huile.

— Culasses. Rectangulaires où à nombre de gradins réduit.

— Joints : plat (fig. 3-1), enchevêtré (fig. 3-2).

Circuit électrique.

— **Bobinage** (fig. 4) : *(1)* Concentrique simple; *(2)* Concentrique double; *(3)* À galettes. Enroulements en fil ou en méplat de cuivre (selon l'intensité).

B. T. : isolement à l'émail.

H. T. : isolement au papier recouvert de coton et de toile huilée.

— **Isolation générale :** entre bobinage et colonnes (tube isolant en carton bakélisé), entre bobines B.T. et H.T. (tube écran), entre galettes B.T. et H.T. (cales), entre colonnes voisines (écran en papier bakélisé), entre bobines et culasses (cales en bois imprégné et de papier bakélisé).

Les transformateurs sont plongés dans l'huile isolante minérale.

— **Bornes de raccordement.**

Fig. 5 et 6. *(1)* Couvercle ou cuve; *(2)* Tige métallique; *(3)* Collier de fixation; *(4)* Manchon en porcelaine; *(5)* Air ou huile.

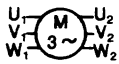
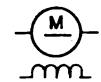
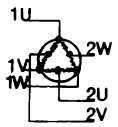
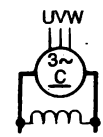
Partie mécanique. Cuve constituant enveloppe protectrice, support et contenant de l'huile.

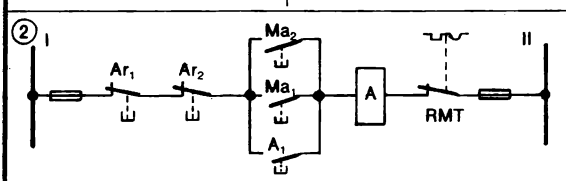
Refroidissement. Circulation : de l'huile et de l'air par convexion, de l'huile par convexion avec ventilation forcée, de l'huile accélérée par une pompe avec ventilation forcée, de l'huile accélérée par une pompe et utilisation de l'eau comme réfrigérant.

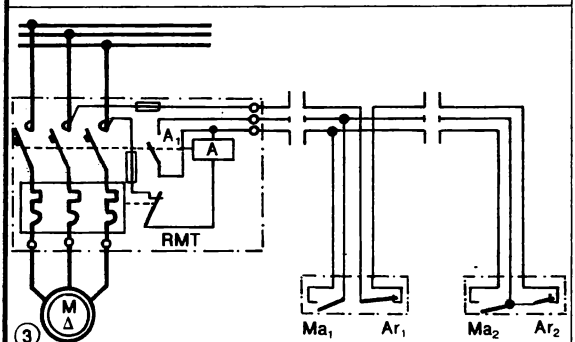
Fig. 7 : *(1)* Transformateur à protéger; *(2)* Conservateur d'huile; *(3)* Réservoir d'azote; *(4)* Conduite en acier; *(5)* Valve d'admission d'azote.

Fig. 8 : Compensation des variations du niveau d'huile sous l'effet des écarts de température. *(1)* Vers cuve; *(2)* Niveau d'huile; *(3)* Ballonnet; *(4)* Respirateur.

5. PRINCIPAUX SYMBOLES GRAPHIQUES UTILISÉS POUR LES MACHINES STATIQUES (fig. 1).

Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
Moteur asynchrone triphasé à cage.		Moteur asynchrone triphasé rotor à bagues.		Moteur à aimant permanent.	
— 2 enroulements stators séparés.		— avec démarreur automatique dans le rotor.		Enroulement dérivation *(1)*, série *(2)*.	
— 6 bornes de sortie (couplage étoile-triangle).		Moteur asynchrone monophasé à rotor à bague avec bornes sorties pour phase auxiliaire.		Moteur continu à excitation séparée.	
— Couplage de pôles (moteur vitesses).		Moteur à collecteur monophasé série		Moteur courant continu à excitation série.	
		Génératrice courant alternatif (symbole général).		Moteur courant continu à excitation composée.	
Moteur asynchrone monophasé à cage — sans bornes sorties pour phase auxiliaire. — avec bornes sorties.		Génératrice (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé, à induit monté en étoile, neutre sorti.		Génératrice courant continu (symbole général).	
				Commutatrice triphasé-continu, excitation dérivation.	





6. SCHÉMAS DE MONTAGE DES MACHINES A COURANT ALTERNATIF

Installation d'un moteur asynchrone triphasé à cage.

• **Démarrage direct** avec discontacteur commandé à partir de deux points.

Fig. 2 : schéma développé.

A : bobine. A_1 : contact auxiliaire dépendant de A. Ar_1, Ar_2 : boutons arrêt Ma_1, Ma_2 : boutons marche. RMT : contact dépendant du relais de surintensité à effet magnéto-thermique.

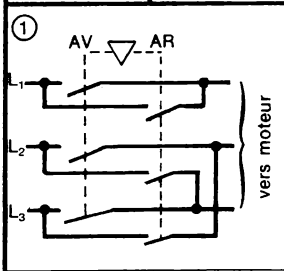
Fig. 2 : schéma multifilaire.

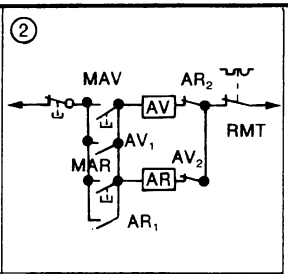
1er poste de commande : Ma_1-Ar_1

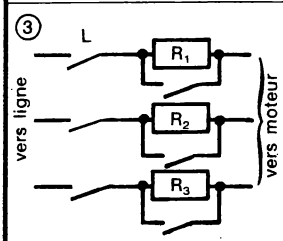
2e poste de commande : Ma_2 - Ar_2

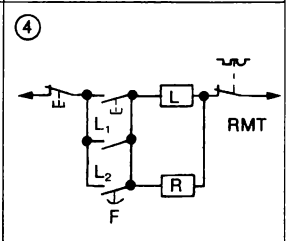
VI - FORCE MOTRICE

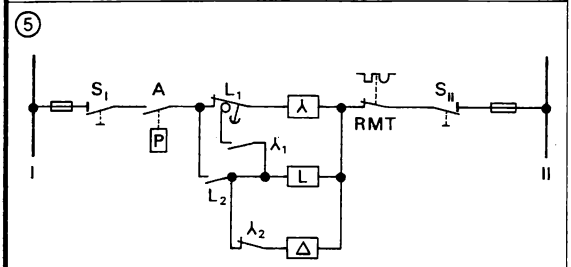
utilisation de l'énergie électrique

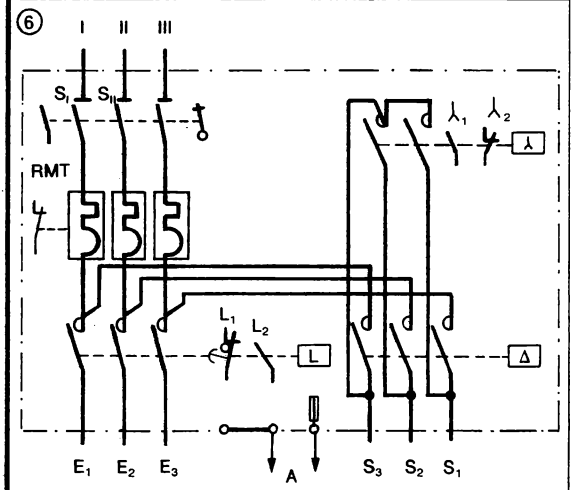












• Démarrage direct, deux sens de rotation.

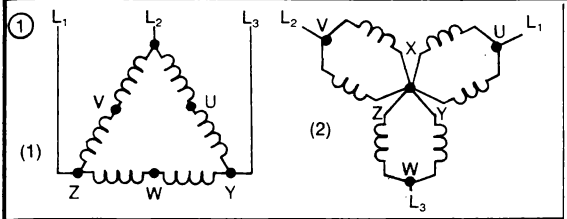
Fig. 1 : représentation semi-développée simplifiée du circuit principal.
Fig. 2 : représentation développée du circuit de commande du discontacteur-inverseur tripolaire, comprenant un bouton « marche avant », un bouton « marche arrière » et un bouton arrêt.

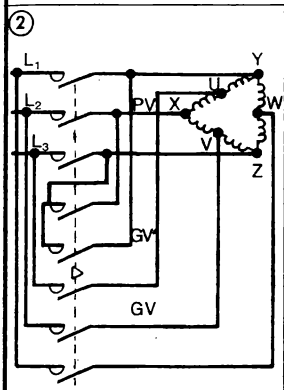
• Démarrage par élimination de résistances statoriques, un sens de rotation.
Fig. 3 : représentation semi-développée simplifiée du circuit principal.
Fig. 4 : représentation développée du circuit de commande.

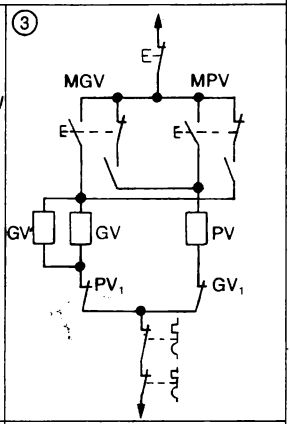
• Démarrage étoile-triangle, un sens de marche.
Fig. 5 : schéma développé.
Fig. 6 : disposition générale du démarreur λ Δ (circuit principal complet).
Ligne : I-II-III.
A : poste de commande à distance, interrupteur automatique (pression, par exemple).

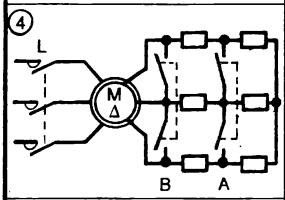
Fonctionnement.

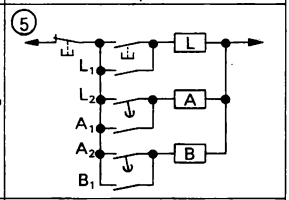
1er temps. On ferme le sectionneur, puis A. La bobine λ est alimentée, le contacteur λ couple les enroulements du moteur en λ ; en même temps λ_1 se ferme (λ_2 s'ouvre, verrouillage de Δ) et alimente L, qui ferme le contacteur de ligne et L_2. *Le moteur est alimenté en tension étoilée par L et λ.*
2e temps. Au bout d'un temps convenablement réglé, le contact temporisé L_1 s'ouvre, provoquant le déclenchement du contacteur λ qui entraîne l'ouverture de λ_1 et la fermeture de λ_2. Ce dernier ferme le circuit de la bobine Δ qui enclenche le contacteur triangle.
Le moteur est alimenté en pleine tension par L et Δ. La coupure de A provoque l'arrêt du moteur.

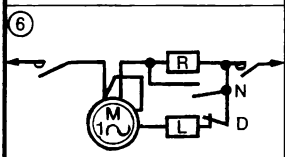


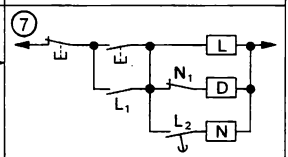


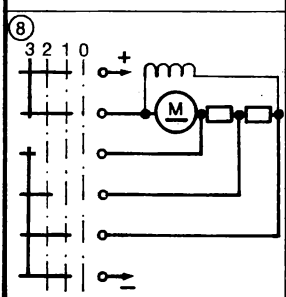


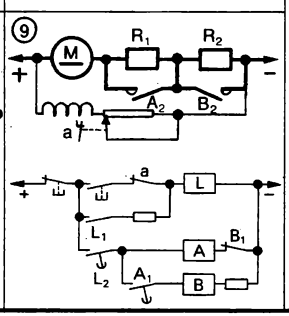












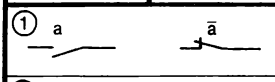
• **Fonctionnement d'un moteur à deux vitesses par couplage des bobines.**

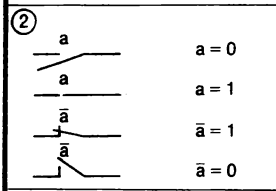
Fig. 1 : modes de couplage. Exemple : *(1)* Couplage triangle-série (petite vitesse) et étoile-parallèle (grande vitesse).
Fig. 2 : représentation semi-développée du circuit principal.
PV : contacteur petite vitesse. GV, GV' : contacteurs grande vitesse commandés ensemble à l'aide d'une seule bobine, ou séparément, chacun avec une bobine (branchement en dérivation).
Fig. 3 : représentation développée du circuit de commande avec emploi de deux bobines GV et GV_1 branchées en dérivation.

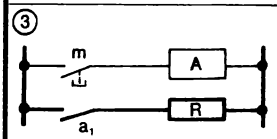
— **Moteur asynchrone triphasé à rotor à bagues.**
Élimination des résistances rototiques selon un temps prédéterminé.
Fig. 4 : représentation semi-développée simplifiée du circuit principal d'un moteur dont le démarrage s'effectue en 3 temps.
Fig. 5 : représentation développée simplifiée du circuit de commande avec discontacteur pour la mise sous tension du stator et deux contacteurs d'élimination des résistances.

— **Moteur à courant monophasé.**
Fig. 6 : circuit principal d'un démarrage utilisant une inductance L et une résistance R.
Fig. 7 : circuit de commande ordre de démarrage L + D puis L + N.

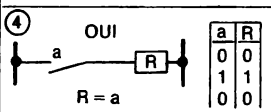
— **Moteur à courant continu** à excitation en dérivation.
Fig. 8 : Démarrage en 3 temps avec un combinateur à tambour.
Fig. 9 : Circuits principal et de commande d'un moteur avec démarrage automatique en 3 temps *(représentation simplifiée).*



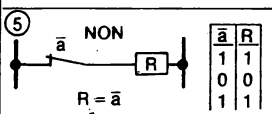




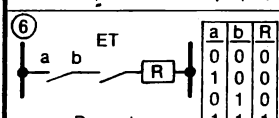
Repos : m = 0 A = 0
A = 0 a_1 = 0
R = 0 (non alimenté)
Travail : m = 1 A = 1
A = 1 a_1 = 1
R = 1 (alimenté)



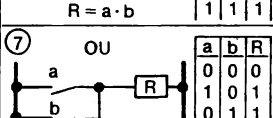
a	R
0	0
1	1
0	0



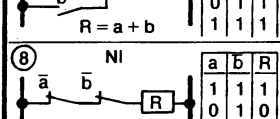
ā	R
1	1
0	0
1	1



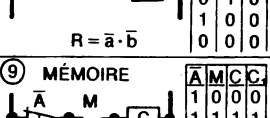
a	b	R
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1



a	b	R
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1



a	b	R
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0



Ā	M	C	C_1
1	0	0	0
1	1	1	1
1	0	1	1
0	0	0	0
1	0	0	0

1. Définitions.

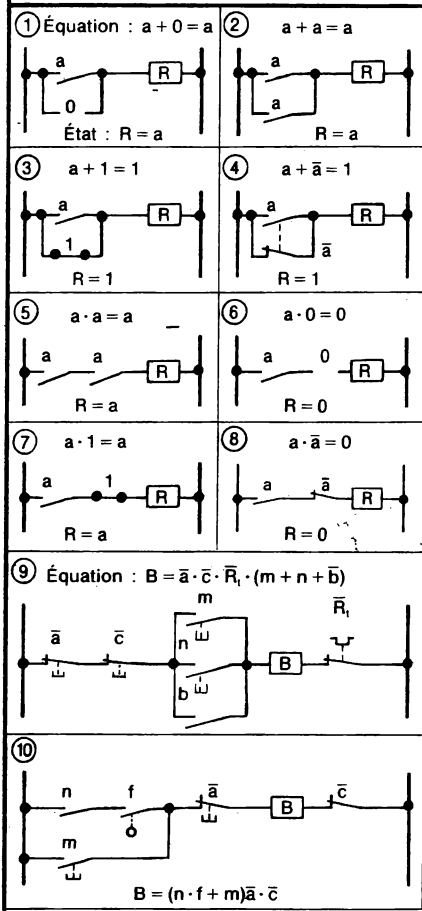
Les **automatismes** conduisent à utiliser des organes technologiques qui suppriment les fonctions humaines d'effort, d'observation, de mémoire, de décision.
L'**automatisation** est l'introduction d'automatismes dans une machine précédemment surveillée entièrement par l'homme.
La plupart des problèmes d'automatismes consiste à rechercher les liaisons à établir généralement entre des éléments n'ayant que deux états.
Exemples. Lampe allumée ou éteinte.
Moteur en marche ou à l'arrêt.
Bobine de relais alimentée ou non alimentée.
Vérin au travail ou au repos, etc.
Le but du circuit d'automatisme est de réaliser une fonction logique qui **est** ou **n'est pas** accomplie.
Dans le système binaire, lorsqu'un appareil est en fonctionnement on dit qu'il est à l'**état 1** et à l'**état 0** s'il ne fonctionne pas.
Les éléments énumérés ci-dessus sont dits « variables binaires ou booléennes » et l'étude de leurs associations (ou opérations logiques) fait appel à l'*algèbre de Boole*(1).
Pour l'élaboration des schémas on pourra donc utiliser des dispositifs dont on considère les deux états.

2. Symboles littéraux désignant les contacts.

Fig. 1 : Exemple de contacts ouverts au repos : **a, b, c** --- ou normalement fermés au repos : **a, b, c** --- (**a** barre, **b** barre, etc.).
Fig. 2 et 3 : Exemples d'utilisation du système binaire. Les schémas représentent les contacts au repos (bobine non alimentée).
La même convention est faite par une diode bloquée ou conductrice, un transistor bloqué ou saturé, une vanne ouverte ou fermée, etc.

3. **Fonctions binaires :** fonctions dont la valeur (**0** ou **1**) dépend de celles d'une ou plusieurs variables binaires.
Les fonctions logiques de base traduisent chacune une fonction de commutateur. L'algèbre de Boole permet de réaliser les opérations au moyen des fonctions logiques, ou équations résultant des dispositifs analysés.
Les figures 4 et 9 précisent les principales fonctions logiques utilisées.
Fig. 4 OUI *(ou égalité)* : R est alimenté quand **a** est fermé.
Fig. 5 NON *(ou pas)* : R n'est pas alimenté quand **ā** s'ouvre.
Fig. 6 ET *(ou intersection)* : R est alimenté quand **a** *et* **b** sont fermés.
Fig. 7 OU *(ou réunion)* : R est alimenté quand **a** *ou* **b** est fermé.
Fig. 8 NI *(ou NON à plusieurs entrées)* : R n'est pas alimenté quand **ā** ou **b̄** s'ouvre.
Fig. 9 Mémoire. C reste alimenté lorsqu'on cesse d'appuyer sur M (autoalimentation).

(1) Mathématicien anglais 1815/1864.



4. Équations logiques de base.

Les figures 1 à 8 représentent les propriétés des opérations utilisées en algèbre de Boole : l'addition et la multiplication.

Lorsque l'état de R est fonction de celui du contact **a**, on écrit R = **a**.

Les schémas logiques répondant aux équations sont des logigrammes.

— Réalisation d'un schéma connaissant son équation.

L'équation d'une bobine de contacteur est donnée par la figure 9.

Trois contacts fermés au repos **ā**, **c̄** et $\bar{R}_t$, sont en série avec un groupement en dérivation de trois contacts ouverts au repos : **m, n** et **b.**

La figure 9 représente le schéma booléen correspondant.

— Mise en équation d'un circuit.

La figure 10 représente le circuit d'alimentation d'une bobine B (organe de sortie) avec les variables d'entrée **n, f, m, ā** et **c̄**. On cherche la relation entre B et les variables. C'est un montage série-parallèle.

5. Termes techniques utilisés dans les automatismes.

Automatisation : introduction d'automatismes dans une machine précédemment surveillée.

Automatisme : élément propre à une machine automatique.

— *à programmation chronométrique* (ou à cycle rigide d'une durée invariable). L'ordre de déroulement est lié au temps.

• *à action directe* : liaison mécanique (chaîne cinématique) ;

• *à action indirecte* : liaison non mécanique (courant, fluide).

— *à séquences.* Chaque opération ne peut se déclencher que si la précédente est parvenue à un point d'accomplissement déterminé. Seule la fin d'une séquence fournit un renseignement sur la marche de la machine.

— *asservi.* Une comparaison entre le résultat désiré et le résultat provisoirement obtenu a lieu : soit d'une façon continue, soit à intervalles déterminés.

Cycle : ensemble des opérations qui se succèdent en ordre prédéterminé (machine à laver, enseigne lumineuse, machine-outils, etc.).

Machine automatique : machine conçue de façon à réduire au strict minimum l'attention intellectuelle.

Machine cycle par cycle : une remise en marche est nécessaire pour le cycle suivant (machine à laver, par exemple).

Marche continue : les cycles se succèdent jusqu'à ce qu'un signal d'arrêt intervienne (enseigne lumineuse, par exemple).

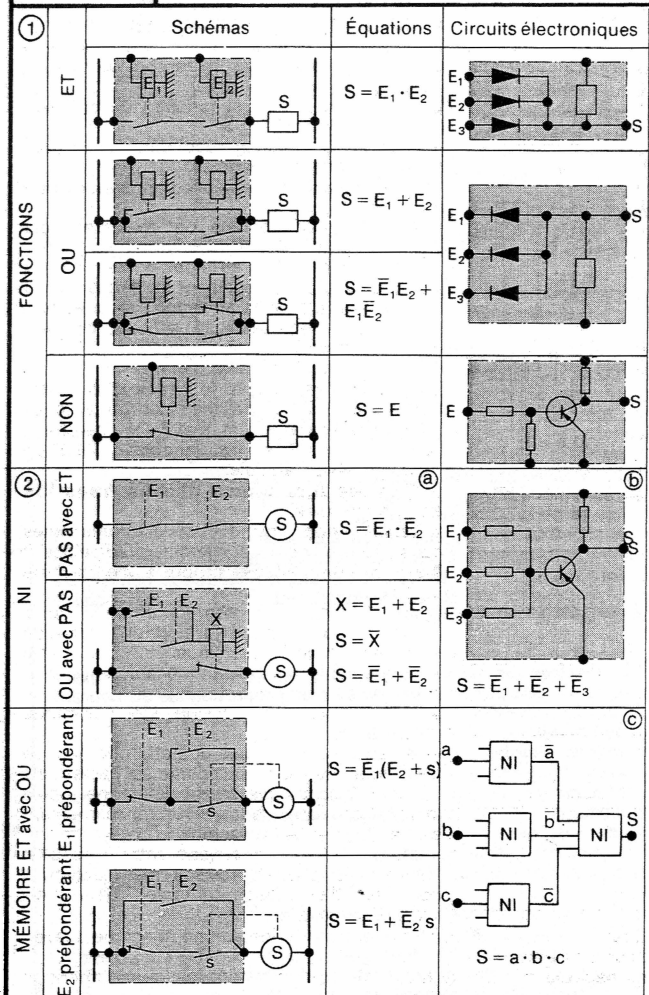
Mécanisation : introduction de mécanismes (éléments entrant dans la constitution d'une machine).

Programme. Élément fournissant une série d'*instructions ordonnées* qui déterminent le comportement d'une machine automatique.

— *invariable* : la machine ne réalise qu'un seul type d'utilisation : distribution ;

— *modifiable* : réalisations différentes : machines-outils.

Réseaux de transmission. Ensemble d'éléments transmettant l'information et utilisant des appareils ayant pour but de *capter les renseignements* (informateur ou capteur), de transmettre ou d'arrêter le *passage de l'information* (émetteur, relais, récepteur), de mettre *l'information en réserve,* de mettre en œuvre les *organes d'action,* d'assurer la sécurité, etc.



6. **Fonctions logiques de base et circuits logiques électroniques.**

Fig. 1. La partie grisée représente des ensembles. Ceux figurant dans la colonne « circuits électroniques » utilisent des diodes ; ils peuvent employer d'autres composants. Signaux d'entrée : E_1, E_2, E_3. Sortie : S.

La partie contenue dans le cadre grisé se présente pratiquement sous la forme d'un élément embrochable.

7. **Fonctions logiques secondaires.**

Fig. 2 : *a)* Combinaison de plusieurs fonctions élémentaires.

b) Élément NI : combinaison de PAS et OU.

c) Fonction ET, réalisée avec plusieurs fonctions NI.

8. **Constitution générale d'une machine automatique** (fig. 3).

Les informations émises par le mobile — tout au cours de son déplacement ou seulement en fin de course — sont généralement dirigées vers la « commande programmée » par une ligne de rétroaction (automatisme à chaîne fermée).

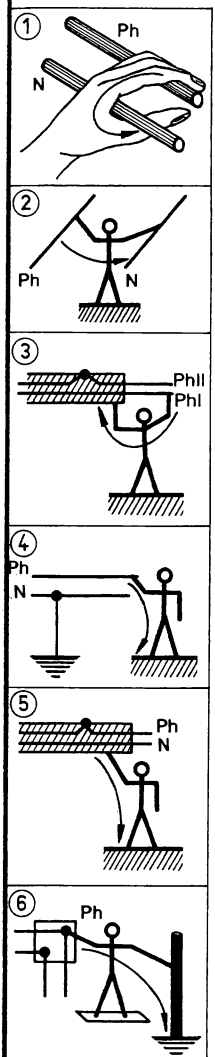
VII - SÉCURITÉ
dans l'emploi des courants

E.112

1. DANGERS CORPORELS

Le corps humain est conducteur ; il se comporte comme une résistance.
Il y a danger lorsque l'intensité du courant qui traverse le corps est de l'ordre de 30 à 100 mA. La tension dangereuse correspond à 50 V environ et peut entraîner des troubles et l'électrocution.

Les règlements ont fixé les tensions dangereuses suivantes (catégorie T. B. T.) :
— courant continu, 50 V ;
— courant alternatif monophasé, 24 V ;
— courant triphasé avec neutre isolé, 24 V entre phases ;
— courant triphasé avec neutre à la terre, 42 V entre phases.



Les différentes parties du corps peuvent être mises sous tension par contacts qui s'établissent :

• **directement entre les pièces sous tension,** sans liaison avec la terre.

Exemples : contact des doigts entre Ph et N (fig. 1), contact des mains entre Ph et N (fig. 2), contact entre une main touchant PhI et une main touchant une masse métallique mise accidentellement sous une tension par PhII (fig. 3).

• **entre un conducteur, ou une pièce sous tension, et la terre** par l'intermédiaire du sol (fig. 4).

• **entre une partie métallique isolée du sol,** mise accidentellement sous tension, et la terre (fig. 5).

• **entre un conducteur, ou une pièce sous tension,** et une masse métallique (tuyau d'eau, de gaz) reliée au sol (fig. 6).

Prévention.

Les contacts avec les organes sous tension doivent être rendus impossibles ou inopérants :

• par emploi d'une *alimentation T. B. T.,*

• par *inaccessibilité* des pièces métalliques sous tension ou susceptibles d'y être mises :
— emploi d'un matériel ne présentant extérieurement *aucune masse métallique* (appareillage en matière moulée, par exemple) ;
— matériel placé *hors portée des personnes ;*
— emploi d'un *protecteur* entourant les pièces métalliques sous tension (coffret, grillage, etc.).

• par *isolation des personnes :* plancher isolé, tapis, tabouret, gants, outils isolés, etc.

• par la *mise à la terre des masses métalliques :* mise au potentiel de la terre, emploi d'un dispositif de sécurité mettant hors circuit la partie de l'installation qui comporte une masse métallique accidentellement sous tension.

Mesures à prendre en cas d'accident.

• **Garder sa présence d'esprit.**

• **Écarter du courant le plus rapidement possible la victime :**
— en prenant toutes précautions utiles (gants, perche, planche, chaise, linge sec, etc.) ;
— en supprimant le courant.

• **Porter la victime dans un local aéré,** à l'écart des personnes.

• **Commencer immédiatement la respiration artificielle,** même si la victime semble morte.

• **Appeler le médecin.**

• En attendant le médecin, essayer de rétablir au plus vite :

— la *circulation :* desserrage des vêtements, flagellation du tronc, frictions sur la figure (eau froide), etc. ;

— la *respiration* en ayant recours à la respiration artificielle.

Les méthodes les plus utilisées sont la méthode « Schaefer » et la méthode de « bouche à bouche ».

Expiration et inspiration à l'aide de mouvements appliqués au corps de la victime, et répétés jusqu'au rétablissement de la respiration naturelle ; cette manœuvre peut durer *plusieurs heures.*

N'abandonner jamais un électrocuté sans avoir des signes certains de sa mort.

2. LES EFFETS DU COURANT SUR LE MATÉRIEL

L'échauffement exagéré de tout organe conducteur parcouru par un courant, la formation d'un arc dû à la coupure d'un circuit sont susceptibles d'enflammer les corps situés dans leur entourage immédiat et de provoquer un incendie.

Origines et causes possibles.

• **Courts-circuits** provoqués par contacts inopinés entre conducteurs nus ou dénudés ou pièces conductrices sous tension, chutes d'objets métalliques sur des barres de connexion, accident mécanique survenant dans les machines ou l'appareillage.

• **Surcharges** dues à une section insuffisante des conducteurs.

• **Mauvais contacts** provoqués par la défectuosité de contacts mécaniques : mauvais serrage des bornes (machine, appareillage, boîtes de raccordement), ou entre des organes conducteurs (couteaux, mâchoires).

• **Courants de fuite** dus au mauvais isolement entre conducteurs ou entre conducteurs et la terre, ou la masse. Défauts dus à l'humidité ou à l'échauffement.

• **Extra-courant de rupture :** formation d'arcs à l'ouverture d'un appareil de commande (échauffement local du milieu ambiant).

• **Facteurs favorisant les dangers d'incendie.** Locaux dans lesquels des matières facilement inflammables ou susceptibles d'exploser sont traitées, fabriquées ou entreposées en quantité notable (usines textiles, usines de produits chimiques, ateliers de menuiserie) ; locaux poussiéreux, humides.

Prévention.

• **Choix et disposition judicieux des appareils de protection** de façon à protéger les installations contre les courts-circuits. Exécution des installations suivant les règles de l'art.

• **Choix de la section des conducteurs et du calibre des coupe-circuit** en fonction des intensités admissibles (publication NFC 15-100 de l'U. T. E.).

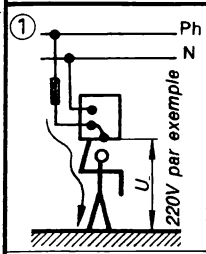
• **Utilisation d'un bon matériel** (marque de qualité U. S. E.).

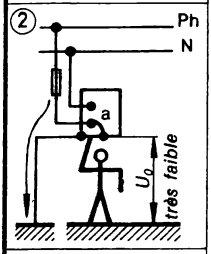
• **Éxécution de bonnes connexions** (surface de contact suffisante, bon serrage).

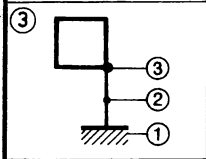
• **Éxécution des installations suivant les règlements techniques.**

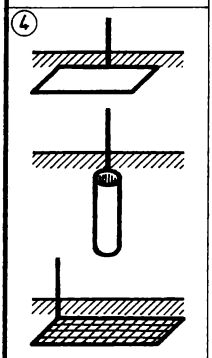
• **Emploi d'appareils limitant les arcs.**

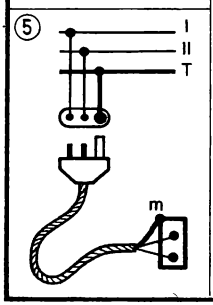
• **Vérification périodique des raccordements, des appareils de sécurité, de la résistance d'isolement des installations.**











3. PROTECTION PAR MISE A LA TERRE

Les tensions qui peuvent survenir entre la terre et les parties métalliques sont *dangereuses* pour l'usager (fig. 1).
Pour assurer la *sécurité*, on élimine ces tensions en reliant électriquement les parties métalliques à la terre. La mise hors circuit est effectuée à l'aide des appareils de protection (coupe-circuit, disjoncteur).
Si la masse métallique de l'appareil (fig. 2) est mise accidentellement à la terre par l'intermédiaire de (a), un courant de court-circuit circule directement de Ph à T produisant la fusion du fusible d'où l'élimination de la tension.
La tension U_0 est très faible (voisine de 0), donc non dangereuse.

Constitution générale d'une mise à la terre (fig. 3).

1 Prise de terre. La liaison à la terre doit avoir la plus faible résistance possible afin de diminuer la tension masse-terre. Pour éviter d'être détériorée, elle doit offrir une grande résistance à la corrosion.
Emploi d'éléments métalliques en cuivre ou en acier galvanisé (plaque, tube, grillage, etc., fig. 4) à grande surface, enfouis dans un sol aussi humide que possible.
Emploi de conduites souterraines étendues (eau, par exemple), à condition d'assurer la continuité électrique sur tout le parcours de la canalisation. Les canalisations de gaz, de chauffage central, les conduits d'évacuation d'eau, de fumée, etc., sont interdits à cause des dangers qu'ils présentent.

2 Canalisation de terre. Conducteurs de faible résistance (pour limiter la tension dangereuse), de section proportionnée au courant qui peut les traverser.
Lignes principales : $S \geqslant 28$ mm^2.
Dérivations, simples lignes de terre :
— conducteurs nus $\geqslant 14$ mm^2 ;
— conducteurs isolés posés de la même façon que les conducteurs d'alimentation : S des conducteurs d'alimentation > 14 mm^2 ; S canalisation de terre $\geqslant 14$ mm^2. Pour S alimentation < 14 mm^2 ; S minimale terre = S alimentation.
Les conducteurs doivent être protégés afin d'éviter qu'ils se détériorent.
Les canalisations doivent être *indépendantes* des canalisations de gaz, de chauffage, etc. ; être *accessibles*. La continuité du circuit doit être assurée. Les conducteurs peuvent emprunter les mêmes fourreaux que les autres canalisations de l'installation, à condition qu'ils soient isolés de la même façon que les autres conducteurs.

3 Liaison avec la partie métallique.

Faible résistance électrique et solidité mécanique suffisante pour résister aux chocs, vibrations, etc.
Remarque. La mise à la terre des appareils amovibles est assurée par l'intermédiaire de l'appareil de raccordement (prise de courant, boîte de jonction). La canalisation souple comporte un conducteur de terre (même constitution que les autres conducteurs) solidaire mécaniquement des autres conducteurs.
Fig. 5 : I-II Canalisation d'alimentation (fixe), T canalisation de terre (fixe), m : masse de l'appareil mobile reliée à T par l'intermédiaire de la prise de courant.

E.115 VIII - INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

1. RÈGLES D'ÉTABLISSEMENT DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES A BASSE TENSION[1]

Domaine d'application.

Ces règles ont pour objet de définir les conditions dans lesquelles les installations doivent être établies et maintenues pour assurer la *sécurité* des personnes et des animaux (protection contre les chocs électriques), la *conservation* des biens (protection contre les effets thermiques en service normal : surintensités et surtensions) et, lorsqu'elles sont alimentées par un réseau de distribution publique, pour éviter toute cause de *troubles* dans le fonctionnement général de ce réseau.

Les installations à basse tension peuvent être alimentées :

— soit directement par un réseau de distribution publique de 1re catégorie (B.T. 50 à 430 V en courant alternatif, 50 à 600 V en courant continu), par l'intermédiaire d'un branchement. C'est le cas général des installations des locaux à usages domestiques ou de puissance analogue caractérisées par la valeur de la tension d'alimentation (220 V et encore 127 V en monophasé, 220/380 V et encore 127/220 V en triphasé) et par le schéma des liaisons à la terre (schéma TT[2]) ;

— soit par un réseau de distribution de 2e catégorie (M.T. 430 à 1 100 V en courant alternatif, 600 à 1 600 V en courant continu), par l'intermédiaire d'un poste de transformation d'abonné ;

— soit par une installation à haute tension, par l'intermédiaire d'un poste de transformation ;

— soit par une source autonome d'énergie.

Les règles s'appliquent principalement :

— aux installations électriques des bâtiments ou établissements à usage d'habitation, commercial, recevant du public, industriels, agricoles ou horticoles, préfabriqués, de même que celles relatives aux caravanes et terrains de camping, chantiers, fêtes foraines et autres installations temporaires ;

— aux circuits alimentés sous une tension nominale ou plus égale à 1 000 V en courant alternatif (valeur efficace) et à 1 500 V en courant continu, à tout câblage et à toute canalisation qui ne sont pas visés par les normes relatives aux appareils d'utilisation, aux canalisations fixes de télécommunications, de signalisation ou de commande (à l'exception des circuits internes des appareils) ;

Elles ne s'appliquent pas :

— aux ouvrages de production et de distribution d'énergie électrique placés sous le régime de la concession.

— aux matériels de traction électrique, aux équipements électriques des automobiles et navires.

Pour certaines applications des normes particulières ont été élaborées : ascenseurs et monte-charge, clôtures électriques, machines-outils, brûleurs à combustibles liquides, etc.

2. TERMES RELATIFS AUX INSTALLATIONS

2.1. Caractéristiques générales.

Installation électrique : combinaisons de circuits associés en vue d'une fonction donnée et ayant des caractéristiques coordonnées.

Installation d'utilisation : installation électrique dont la fonction est l'alimentation de matériels d'utilisation faisant eux-mêmes partie ou non de l'installation.

Équipement : ensemble des matériels électriques installés dans un domaine donné en vue d'assurer la desserte de ce domaine ou d'un domaine associé.

Réseau de distribution : installations destinées au transport de l'énergie électrique entre les sources de production et les installations d'utilisation.

Origine de l'installation :

- alimentation par réseau : bornes de sortie de l'appareil général de commande et de protection ;
- poste de transformation : bornes de sortie du transformateur ;
- source autonome : l'installation comprend la source d'énergie électrique.

(1) NF C 15.100

(2) Voir page 127

Schémas de liaisons à la terre.

• **schéma TT** : les courants de défaut phase-masse, tout en ayant une intensité inférieure à celle d'un courant de court-circuit, peuvent néanmoins être suffisants pour provoquer l'apparition de tensions dangereuses. Fig. 1 (1) Prise de terre de l'alimentation.

• **schéma TN** : tout courant de défaut franc phase-masse est un courant de court-circuit.
Le conducteur neutre et le conducteur de protection peuvent être combinés (fig. 2), en un seul conducteur (PEN) ou être séparés (fig. 3).

• **schéma IT** : le courant résultant d'un seul défaut phase-masse a une intensité suffisamment faible pour ne provoquer l'apparition d'aucune tension de contact dangereuse (fig. 4).

• **signification des lettres.**
1re lettre : situation de l'alimentation par rapport à la terre T (liaison directe d'un point avec la terre), I (isolation de toutes les parties actives par rapport à la terre ou liaison d'un point avec la terre à travers une impédance).
2e lettre : situation des masses de l'installation par rapport à la terre. T (masses reliées directement à la terre, indépendamment de la mise à la terre éventuelle d'un point de l'alimentation), N (masses reliées directement au point de l'alimentation mis à la terre : point neutre, en courant alternatif).

Installations temporaires. Durée limitée aux circonstances qui les motivent : dépannage (nécessaire pour pallier un incident d'exploitation), travaux de réfection ou transformations d'installations (sans interruption de l'exploitation), semi-permanentes (aménagement de durée limitée, sortant du cadre des activités habituelles des locaux, ou se répétant périodiquement), chantiers (exécution de travaux de construction de bâtiment).

Isolement : grandeur caractérisant l'isolation d'un matériel, d'un équipement ou d'une installation. Le *niveau d'isolement d'une installation* (à ne pas confondre avec la résistance d'isolement) correspond à la tension de tenue à fréquence industrielle de l'élément le plus faible de l'installation (tension d'essai diélectrique).

Alimentation

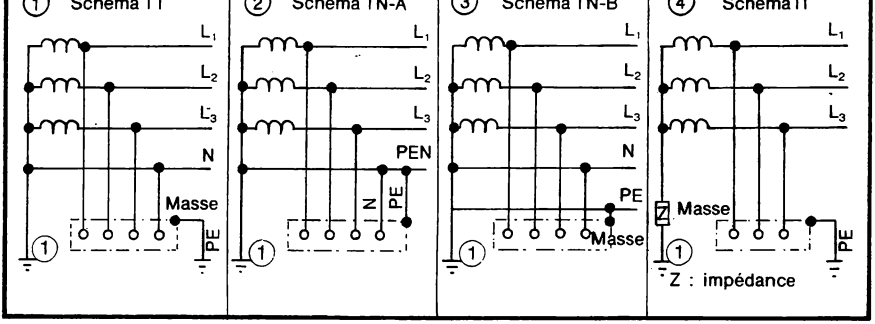
• de **sécurité** : alimentation de matériels dont le fonctionnement doit être assuré pour des raisons de sécurité des personnes, en cas de défaillance de l'alimentation normale (alimentations imposées dans les établissements recevant du public, dans les immeubles de grande hauteur et dans certains établissements industriels).

• de **remplacement** : cas de défaillance de l'alimentation (conditions normales), raisons autres que la sécurité des personnes (éviter l'interruption de procédés industriels continus ou de traitement de l'information).

Facteurs

• d'**utilisation** : rapport de la puissance effectivement absorbée par un appareil d'utilisation à sa puissance nominale ;

• de **simultanéité** : rapport de la somme des puissances nominales des appareils susceptibles de fonctionner simultanément à la somme des puissances nominales de tous les appareils alimentés par le même circuit ou la même installation.



Influences externes

Température ambiante : température de l'air ambiant à l'emplacement où le matériel doit être installé.

2.2. Protection contre les chocs électriques.

Choc électrique : effet pathophysiologique résultant du passage d'un courant électrique à travers le corps humain.

Contacts directs : contacts des personnes avec les parties actives des matériels électriques.

Contacts indirects : contacts des personnes avec des masses mises accidentellement sous tension.

Courant de choc : courant qui traverse le corps humain ou le corps d'un animal et dont l'intensité est telle que des blessures sont susceptibles d'en résulter.

Conducteur actif : affecté à la transmission de l'énergie électrique, y compris le conducteur neutre en courant alternatif et le compensateur en courant continu.

Conducteur neutre : relié au point neutre, il est susceptible de transporter de l'énergie.

Conducteur PEN : assure à la fois les fonctions de conducteur neutre et de conducteur de protection.

Parties actives : conducteurs actifs et pièces conductrices des matériels et des équipements susceptibles de se trouver sous tension en service normal, y compris les pièces conductrices reliées directement au neutre ou au compensateur.

Parties accessibles : parties susceptibles d'être touchées par les personnes.

Parties simultanément accessibles : parties conductrices pouvant être touchées simultanément par une personne.

Partie intermédiaire : partie conductrice inaccessible qui n'est pas sous tension en service normal, mais qui peut être mise sous tension en cas de défaut.

Masse : partie conductrice susceptible d'être touchée et normalement isolée des *parties actives* mais pouvant être mise accidentellement sous tension. Les masses comprennent notamment : les parties métalliques accessibles des matériels électriques séparées des parties actives par une isolation principale seulement, les éléments métalliques en liaison électrique ou en contact avec la surface extérieure des matériels électriques séparée des parties actives par une isolation principale.

Défaut : liaison accidentelle entre deux points de potentiels différents, par exemple défaut d'isolement. Il peut être franc ou présenter une certaine impédance ; un défaut franc entre conducteurs actifs est un court-circuit. Défauts : phase-masse, phase-terre, phase-phase, phase-neutre, neutre-masse, neutre-terre.

Courant de défaut : courant résultant d'un défaut de l'isolation ou du franchissement de l'isolation.

Courant de fuite : courant qui s'écoule dans un circuit électriquement sain à la terre ou à des éléments conducteurs.

Tension de défaut : tension qui apparaît, lors d'un défaut d'isolement, entre une masse et une prise de terre de référence, c'est-à-dire un point dont le potentiel n'est pas modifié par la mise sous tension de la masse.

Tension de contact : tension apparaissant, lors d'un défaut d'isolement, entre des parties simultanément accessibles.

Sols et parois isolants : considérés comme isolants lorsque leur résistance électrique est suffisamment élevée pour limiter le courant de défaut (de l'isolation) qu'ils peuvent transmettre à une valeur non dangereuse.

2.3. Mises à la terre.

Conducteur de protection : conducteur utilisé dans certaines mesures de protection contre les contacts indirects et reliant des masses : soit à d'autres masses, soit à des éléments conducteurs, soit à des prises de terre.

Conducteur principal de protection : conducteur de protection auquel sont reliés les

conducteurs de protection des masses, les conducteurs de terre et, éventuellement, les conducteurs de liaisons équipotentielles.

Prise de terre : toute pièce ou tout ensemble de pièces conductrices enfouies dans le sol assurant une liaison électrique efficace avec la terre.

Installation de mise à la terre : ensemble d'une (ou plusieurs) prise de terre et des conducteurs de protection et de terre correspondants.

Borne de terre de l'installation : borne de connexion des conducteurs de protection au conducteur principal de protection.

Liaison équipotentielle : liaison électrique spéciale destinée à mettre au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses ou des éléments conducteurs.

2.4. Circuits électriques.

Circuit d'installation : ensemble des matériels électriques (conducteurs, appareillage...) de différentes phases (ou de polarités), alimentés par la même source d'énergie et protégés contre les surintensités par le ou les mêmes dispositifs de protection.

Circuit de distribution : circuit alimentant un ou plusieurs tableaux de distribution ou circuits terminaux.

Circuit terminal : circuit protégé contre les surintensités par le dernier dispositif de protection.

Canalisation : ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs et les éléments assurant leur fixation et leur protection mécanique si elle existe.

Protection contre les surintensités (en abrégé : protection électrique) : destinée à éviter que les matériels électriques ne soient parcourus par des surintensités nuisibles ainsi qu'à leur environnement. Elle comporte la détection de surintensité et la coupure en charge d'un circuit pouvant être assurées par un même dispositif (par exemple, coupe-circuit à fusibles) ou par des dispositifs distincts (relais, disjoncteur).

Détection de surintensité : fonction destinée à constater que l'intensité du courant, dans le ou les conducteurs intéressés, dépasse pendant un temps spécifié une valeur prédéterminée et à provoquer, directement ou indirectement, la coupure en charge du circuit correspondant.

Commande : fonction destinée à assurer en service normal la mise en et hors circuit de parties d'installation ou d'appareils d'utilisation au moyen de dispositif appropriés, à l'exclusion de toute action de réglage.

Sectionnement : mise hors tension de tout ou partie d'une installation, en séparant la partie d'installation en cause de toute source d'énergie.

Circuit de commande : circuit servant à transmettre des ordres à partir d'un organe de manœuvre (clé, manette, levier, bouton-poussoir,...) vers le dispositif assurant l'ouverture, la fermeture ou le réglage d'un autre circuit.

Courant d'emploi d'un circuit : intensité du courant à prendre en considération pour le choix des caractéristiques des éléments du circuit.

Courant admissible d'un conducteur : valeur constante de l'intensité du courant que peut supporter, dans des conditions données, un conducteur sans que sa température de régime permanent soit supérieure à la valeur spécifiée.

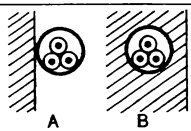
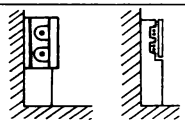
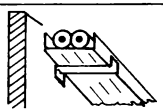
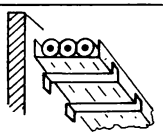
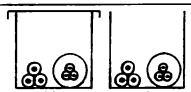
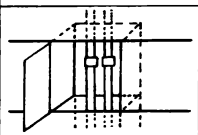
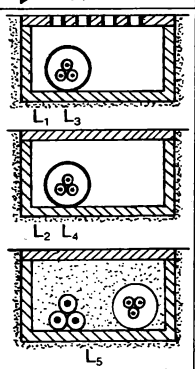
2.5. Locaux ou emplacements.

Salle d'eau : local à usage familial ou individuel affecté aux appareils sanitaires (baignoires, douches, lavabos, etc.).

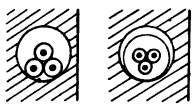
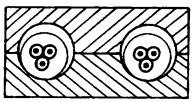
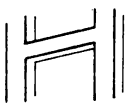
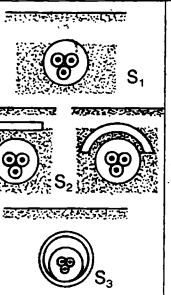
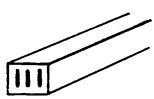
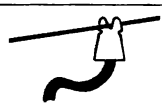
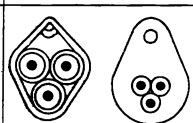
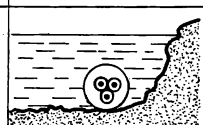
Service électrique : locaux où l'on peut pénétrer et servant essentiellement à l'exploitation d'installations électriques et auxquels n'ont accès, en général, que certaines catégories de personnes. Les locaux de service électrique fermés concernent les installations de commande et de distribution, les cabines de transformateurs, les cellules d'interrupteurs, les machineries d'ascenseurs.

Entretien : locaux situés à l'intérieur d'un local de service électrique ou d'un local de service électrique fermé, dont l'accès est nécessaire principalement en vue de l'entretien des matériels électriques (remplacement des coupe-circuit à fusibles, élimination des défauts, maintien du bon état de fonctionnement).

3. PRINCIPAUX MODES DE POSE DES CANALISATIONS : tableaux p. 130 et 131

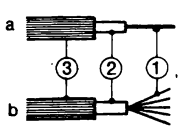
Modes de pose	Repères	Matériel	Remarques
Conduits — apparent — encastré — direct	A B R		Matériel de pose constitué d'éléments tubulaires non ouvrants et conférant aux conducteurs une protection continue. La fixation directe aux parois s'effectue avec des colliers et des attaches (D). Fixation directe aux plafonds (E). Saignée : ouverture longue et étroite réalisée dans un matériau de construction pour y placer des conduits ou certains types de canalisations, et rebouchée après leur pose.
Moulures, plinthes et chambranles rainurés	C		Elles peuvent être en bois ou en matière thermoplastique.
Fixation en plafond	E		
Chemins de câbles ou tablettes	F		Éléments profilés, pleins ou perforés, destinés à assurer le cheminement des câbles. Tablette : support continu constitué de dalles solidaires d'une paroi verticale et sur lequel sont posés les câbles.
Corbeaux	G		Pièce fixée à une paroi à l'une des extrémités et supportant de façon discontinue un câble.
Goulottes **Gouttières**	H J		H. Profilé à parois pleines ou perforées, destiné à contenir des câbles ou des conducteurs. Fermé par un couvercle démontable. J. Profilé supportant en parcours horizontal des câbles. Ouvert à sa partie supérieure.
Gaines	K		Enceinte située au-dessus du niveau du sol, dont les dimensions ne permettent pas d'y circuler et telle que les câbles soient accessibles sur toute la longueur (incorporée ou non à la construction).
Conduits dans : — caniveaux ouverts ou ventilés Pose directe — caniveaux fermés Pose directe — caniveaux remplis de sable	 L_1 L_3 L_2 L_4 L_5		Enceinte ou canal, situé au-dessous du niveau du sol (ou plancher) et dont les dimensions ne permettent pas d'y circuler. Lorsqu'il peut être fermé, les câbles doivent être accessibles sur toute leur longueur. Galerie : enceinte dont les dimensions sont telles que les personnes puissent y circuler.

VIII - INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

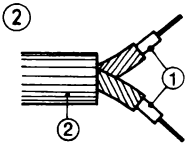
Modes de pose	Repères	Matériel	Remarques
Vides de construction	M		Espace existant dans les parois des bâtiments (murs, cloisons, planchers, plafonds) accessibles seulement à certains emplacements.
Alvéoles	N		Éléments en matériau compact (béton par exemple) dans lesquels sont réservés des vides pour le passage des câbles.
Blocs alvéolés	P		Blocs alvéolés. Matériel constitué d'éléments en matériau compact.
Huisseries	Q		Huisseries métalliques : — fermées longitudinalement et constituées de manière à former un vide de construction ; — non fermées longitudinalement.
Enterré — directement — avec protection mécanique — dans des fourreaux	S_1 S_2 S_3		Tranchée : ouverture réalisée dans un terrain pour y poser des câbles, et rebouchée après la pose. Les câbles peuvent être : — placés directement dans le sol ; — protégés contre le choc des outils métalliques à main ; — placés dans des conduits ou fourreaux. Les câbles sont placés entre deux couches de sable de rivière ou de terre meuble de 10 cm d'épaisseur chacune.
Canalisations préfabriquées	T		Les enveloppes doivent assurer la protection contre les contacts directs en service normal. L'assemblage des éléments et accessoires s'effectue suivant les instructions du constructeur.
Isolateurs	U		Les dimensions et la forme des isolateurs sont en rapport avec celles des conducteurs et avec la tension (barres, tubes, conducteurs nus et isolés, assemblés en faisceaux).
Lignes aériennes	V		Canalisations établies en conducteurs nus ou munis d'un revêtement résistant aux intempéries, en conducteurs assemblés en faisceaux et montés sur poteaux en bois en béton armé, en acier ou sur potelets métalliques.
Immersion dans l'eau	W		On fait usage de câbles spécialement prévus pour la pose immergée dans l'eau.

VIII - INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

①



②



4. CONDUCTEURS ET CÂBLES

4.1. Éléments constitutifs.

Conducteur (fig. 1) : ensemble constitué par une partie centrale et métallique *(1)* conduisant le courant (âme) et les différentes couches *(2)* (enveloppe, gaine, revêtement) qui entourent l'âme et contribuent à son isolation et à sa protection.

Ame massive : fil unique (fig. 1 a).

Ame câblée : plusieurs brins assemblés par câblage de façon à constituer un toron (fig. 1 b). Nature du métal : cuivre recuit nu, cuivre étamé, aluminium demi-dur.

Toron : ensemble de brins mécaniquement solidaires, disposés en hélice en une ou plusieurs couches.

Constitution de l'âme : indication du nombre et du diamètre des brins dont l'âme est composée.

Exemples :
— âme à 1 brin de 1,38 mm : $1 \times 1{,}38$.
— âme à 7 brins de 1,70 mm : $7 \times 1{,}70$.

Section théorique S_t : section calculée à partir des dimensions de l'âme.

Section nominale S_n : valeur approximative de la section servant à désigner un conducteur.

Exemples :
$1 \times 1{,}38$ $S_t \approx 1{,}49$ mm² $S_n = 1{,}5$ mm².
$7 \times 1{,}70$ $S_t \approx 15{,}88$ mm² $S_n = 16$ mm².

Câble : ensemble comportant plusieurs conducteurs électriquement distincts *(1)* et mécaniquement solidaires *(2)* (fig. 2), généralement sous un ou des revêtements protecteurs (gaine, tresse, armure, etc.).

Câble unipolaire : conducteur revêtu d'une gaine.

Enveloppe isolante : matière isolant l'âme.

Gaine de protection : tube continu assurant la protection contre les dégradations (caoutchouc vulcanisé naturel ou synthétique).

Gaine de bourrage : tube continu entourant l'ensemble des conducteurs (câbles) en vue de donner une forme déterminée au câble et d'assurer sa protection contre les dégradations.

Revêtement : couches externes protégeant les conducteurs.

Gomme pure : gomme brute exempte d'impuretés.

Caoutchouc pur : mélange non vulcanisé à haute teneur en gomme pure.

Caoutchouc vulcanisé : mélange de gomme pure (naturelle ou synthétique) et de soufre.

Séparateur : enveloppe de fibres textiles interposée entre deux couches ou éléments successifs constituant le conducteur ou câble (guipage, ruban, tresse, guirlandage, etc.).

Bourrage : éléments remplissant les interstices entre différents conducteurs en vue d'obtenir une forme déterminée.

Armure : partie du revêtement, constituée par des rubans ou des fils de métal dur.

Cuirasse : partie du revêtement, constituée par un ruban métallique qui assure une protection continue et permet le cintrage.

Matelas : enveloppe (matière appropriée) séparant les feuillards des autres parties du revêtement.

Série : ensemble des conducteurs qui répondent à une même spécification.

Tension maximale de service : tension efficace, ou continue, la plus élevée (entre conducteurs et entre conducteurs et la terre) pour laquelle le conducteur, ou le câble, a été établi.

4.2. **Symbolisation.**

Les conducteurs et câbles utilisés en France font l'objet d'une norme U.T.E. quant à leurs compositions et sections et à leurs caractéristiques de protection et d'isolement.

Les désignations vont être progressivement modifiées pour adopter le code de dénomination international, au fur et à mesure de l'harmonisation des normes relatives aux différents types de conducteurs et câbles.

Le tableau ci-dessous précise les éléments entrant actuellement dans la dénomination des conducteurs et câbles. Le tableau 1 page 134 tient compte de l'état actuel de la situation.

On classe généralement les conducteurs et câbles d'après :

- **la tension nominale** : 250 V, 500 V, 750 V, 1 000 V ;
- **la nature du conducteur** : cuivre, aluminium ;
- **le type** : fil unique massif, câble à plusieurs brins ;
- **la protection électrique** : caoutchouc, polychlorure de vinyle, etc. ;
- **la protection mécanique** (s'il en existe une) : feuillard acier, plomb ;
- **la section** : 1,5 mm^2, 6 mm^2, 240 mm^2, etc.

On peut également les classer en câbles basse tension et câbles moyenne ou haute tension. Les premiers comprennent les câbles rigides (installations fixes), souples (raccordements, âme composée de fils plus fins et plus nombreux) et spéciaux (utilisations particulières).

Elément constitutif	Symbole	Signification du symbole	Observations
	U nombre	Normalisé Tension nominale	
Ame	A S	Aluminium Souple (câble)	L'absence de lettre avec celle qui désigne l'enveloppe isolante signifie que l'âme est en cuivre.
Enveloppe isolante	B C E J N R V X	Caoutchouc Butyle vulcanisé Caoutchouc vulcanisé Polyéthylène Papier imprégné Néoprène ou équivalent Polyéthylène réticulé Polychlorure de vinyle Isolant minéral	Les chiffres 2 ou 3 indiquent : 2. gaine isolante épaisse, 3. gaine isolante très épaisse. Absence de chiffre : épaisseur de gaine ordinaire.
Bourrage (cas d'un câble à plusieurs conducteurs)	G 0 1	Matière élastique ou plastique formant Gaine de bourrage autour des conducteurs Absence de bourrage, ou bourrage textile ne formant pas gaine. La gaine de bourrage constituée par gaine de protection	Absence d'un des 3 symboles : câble mono conducteur ou torsade de conducteurs.
Gaine de protection non métallique	C E N V	Caoutchouc vulcanisé Polyéthylène Néoprène ou équivalent Polychlorure de vinyle	Chiffres 2 ou 3 placés avant symbole désignant la nature de la gaine : 2. gaine de protection épaisse, 3. gaine de protection très épaisse. Placé après 1 quand la gaine de protection forme en même temps bourrage.
Revêtements métalliques ou cuirassés	A P F Z	Aluminium Plomb Feuillards ou fils d'acier Zinc ou autre métal	Revêtements extérieurs ou recouverts d'une gaine.
Revêtements extérieurs (non métalliques)	N V T	Néoprène ou équivalent Polychlorure de vinyle Tresse, tricot ou ficelles	
Autres symboles (forme), M : câble méplat ; T : câble torsadé. Pas de symbole : forme ronde.			

VIII - INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

Le tableau **1** indique l'état actuel de la normalisation sur le plan international.
Le tableau **2** donne les caractéristiques générales des principaux matériaux de synthèse de plus en plus employés comme isolants.

① Désignation	État	Dénomination internationale
Isolement aux élastomères		
U-1 000 CN	E	*(1)*
U-1 000 R12 N	E	*(1)*
U-1 000 R2 V	E	*(1)*
U-1 000 RGPFV	E	*(1)*
U-1 000 SC12 N	H	H07 RN-F *(2)*
	A	A07 RN-F *(3)*
U-250 SKT	H	H05 SJ-K
Isolement papier imprégné		
V-1 000 JPV	E	*(1)*
V-1 000 JPFV	E	*(1)*

Désignation	État	Dénomination internationale
Isolement au polychlorure de vinyle		
U-500 V	H	H07 V-U (ou R)
U-500 AV	A	A07 V-RA
U-500 SV	H	H07 V-K
U-500 VGS	A	A05 VV-U (ou R)
U-500 VGPV	N	*(1)*
Blindés à isolant minéral		
U-500 X ou XV	E	*(1)*
V-1 000 X ou XV	E	*(1)*

E : à l'étude ; H : harmonisé.
A : type autorisé ; N : type national.
(1) : ne s'applique pas. *(2)* : pour câble comportant un conducteur vert-jaune. *(3)* : pour câble ne comportant pas de conducteur vert-jaune et pour câbles à plus de 5 conducteurs.

② Isolant	Symbole	Matière	Observations
Polychlorure de vinyle	PVC	Plastomère	Bonne rigidité. Bonnes propriétés mécaniques aux températures ordinaires. Ne propage pas la flamme. Bonne tenue vis-à-vis de la lumière, des moisissures, des huiles et solvants habituels. Cassant à basse température.
Polyéthylène réticulé	PRC	Plastomère de synthèse	Qualités électriques d'isolement très bonnes. Inconvénient de « fluer » s'il n'est pas « réticulé ». Réticulé, il présente d'excellentes qualités (résiste bien à l'abrasion). Emploi sur une large plage de température.
Néoprène	N	Élastomère de synthèse	Rigidité électrique médiocre. Très bonne tenue à l'abrasion, à la lumière, à l'ozone, aux huiles et aux acides.
Butyle	B	Élastomère de synthèse	Rigidité électrique égale à celle du caoutchouc naturel. Médiocre résilience et résistance à l'abrasion moyenne. Imperméable aux gaz et résistant aux acides.

4.3. Sections, composition et impédance des câbles en cuivre

— câbles rigides : tableau **3,**
— câbles souples : tableau **4.** Ce tableau ne comporte que la classe 5.

③ Câbles rigides						④ Câbles souples					
S	Composition	Impédances	*S*	Composition	Impédances	*S*	Composition	Impédances	*S*	Composition	Impédances
mm²	mm	Ω/km	mm²	mm	Ω/km	mm²	classe 5 mm	Ω/km	mm²	classe 5 mm	Ω/km
1,5	1 x 1,38	11,50	50	19 x 1,78	0,40	0,5	16 x 0,20	37	25	196 x 0,40	0,75
2,5	1 x 1,78	6,90	70	19 x 2,14	0,30	0,75	24 x 0,70	25	35	276 x 0,40	0,53
4	1 x 2,25	4,40	95	19 x 2,52	0,23	1	32 x 0,20	18,50	50	396 x 0,40	0,37
6	7 x 1,04	2,90	120	37 x 2,03	0,19	1,5	30 x 0,25	13	70	360 x 0,50	0,26
10	7 x 1,35	1,70	150	37 x 2,25	0,17	2,5	50 x 0,25	7,50	95	475 x 0,50	0,20
16	7 x 1,70	1,13	185	37 x 2,52	0,14	4	56 x 0,30	4,60	120	608 x 0,50	0,15
25	7 x 2,14	0,73	240	61 x 2,25	0,12	6	84 x 0,30	3,14	150	756 x 0,50	0,12
35	7 x 2,52	0,54	300	61 x 2,52	0,11	10	80 x 0,40	1,82	185	925 x 0,50	0,10
						16	126 x 0,40	1,16	240	1221 x 0,50	0,08

Le tableau **1** donne la gamme (nombre de conducteurs et sections) des principaux conducteurs et câbles utilisés pour les séries domestique et industrielle.

①	Désignation	Nombre cond.	S mm²
Série domestique rigides	Ronds U-500 V VGPV	1 2, 3, 4, 5	1,5 à 300 1,5 à 25
	VGPFV VGVFV VOZ	2, 3, 4, 5 2, 3, 4, 5 2, 3, 4	1,5 à 25 1,5 à 25 1,5 à 25
	VOZV Méplat U-500 VCM	2, 3, 4 2, 3	1,5 à 25 1,5 à 4
Série domestique souples	Ronds U-500 SV SCIC SCIN	1 1 à 5 2 à 4	0,75 à 25 0,75 à 25 0,75 à 25

Désignation		Nombre cond.	S mm²
Domestique souples	Méplats U-250 SCM SVM	2 2, 3	0,5 à 1 0,5 à 2
	Torsadés SCT SCOT	2 2, 3	0,5 à 1 0,75 à 1,5
Industrielle	Rigides U-1 000 CN RGPFV R02 V	1 2, 3, 4 1, 2, 3, 4 3 + N 5	1,5 à 150 4 à 240 1,5 à 400 50 à 150 1,5 à 50
	Souples U-1 000 SC 12 N	1, 2, 3, 4 5 à 37	1,5 à 95 1,5 à 4

4.4. Code des couleurs appliqué aux canalisations.

— Cas des conducteurs isolés.

• Neutre : bleu clair. • Conducteur de protection *(terre)* : double coloration vert-jaune.

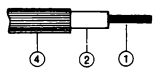
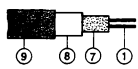
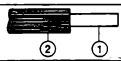
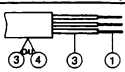
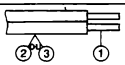
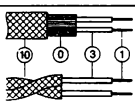
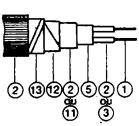
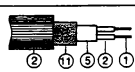
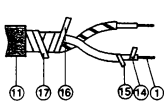
• Phases : une quelconque des autres couleurs disponibles dans la gamme de fabrication, à l'exception des couleurs blanc *(gris)*, jaune, vert ou bleu clair (colonne **c** du tableau **2**).

— Cas des câbles : tableau **2**.

② (a) Nombre de cond du circuit	(b) Circuits	(c) Cond. isolés					(d) Canalisations fixes: Câbles rigides S ≤ 25 mm² et souples					(e) Câbles rigides S > 25 mm²					(f) Can. mobiles: Câbles souples				
		Ph	Ph	Ph	N	T	Ph	Ph	Ph	N	T	Ph	Ph	Ph	N	T	Ph	Ph	Ph	N	T
1	— de protection ou de T					VJ															
2	— monophasés entre Ph	x	x				N(4)	Bc				N	Bc				N	Bc			
	— monophasés entre Ph et N	x			Bc		N			Bc		N			Bc		N			Bc(3)	
3	— triphasés sans N	x	x	x			N	B	Bc			N	B	Bc			N	B	Bc		
	— à 2 Ph et N	x	x		Bc		N	B		Bc							N	B		Bc	(2)
	— à 2 Ph et cond. de protection	x	x			VJ	N(4)	Bc			VJ	N	Bc			VJ(1)	B	Bc			VJ
	— monophasés Ph-N avec cond. protection	x			Bc	VJ	N(4)			Bc	VJ	N			Bc	VJ	B			Bc	VJ
4	— triphasés avec N	x	x	x	Bc		N	B	N	Bc		N	B	N	Bc		N	B	N	Bc	(2)
	— triphasés sans N avec cond. protection	x	x	x		VJ	N	B	Bc		VJ	N	B	Bc		VJ(1)	N	B	Bc		VJ
	— à 2 phases et N avec cond. protection	x	x		Bc	VJ	N	B		Bc	VJ	N	B		Bc	VJ(1)	N	B		Bc	VJ
5	— triphasés avec N et cond. protection	x	x	x	Bc	VJ	N	B	N	Bc	VJ	N	B	N	Bc	VJ(1)	N	B	N	Bc	VJ

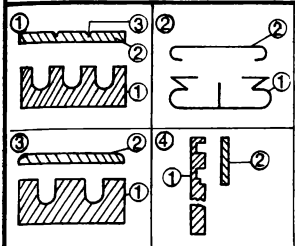
X : couleurs quelconques sauf blanc (gris), vert, jaune ou bleu clair ;
Bc : bleu clair ; VJ : vert-jaune ; N : noir ; B : brun.
(1) : T est réalisé par un conducteur VJ séparé. Exemple : circuit à 4 conducteurs avec un câble à 3 conducteurs + 1 conducteur de T.
(2) : Ces exécutions n'existent que pour les câbles à 3 et 4 conducteurs de la série U-500 SC 1 C de 2,5 et 4 mm² de section et de la série U-1 000 SC 12 N de 1,5 mm².
(3) : Si le mode de connexion permet de déterminer la position du conducteur N.
(4) : Brun pour les câbles souples.

4.5. Constitution et emploi des conducteurs et câbles usuels.

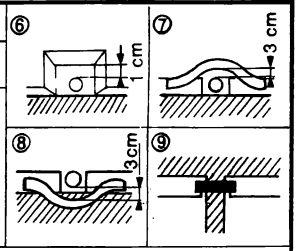
Désignation	Séries	Constitution	Emplois - Remarques
Conducteurs isolés	H 07 V-U (ex U-500)		Installations intérieures. Très bonne résistance mécanique et au vieillissement de l'isolant. Non propagateur du feu.
	U-1000 CN		Installations intérieures. Résistance mécanique identique au U-500 V. Résistance aux agents chimiques et aux huiles. Non propagateur du feu.
Conducteurs blindés à isolant minéral	U-750 X		Locaux présentant des risques d'incendie. Circuits de sécurité. Cannes pyrométriques. Résistent aux chocs.
Conducteurs souples	H 07 V-K (ex U-500 SV)		Câblage des équipements. Interdit sous moulure et conduit.
	U-500 SC1C U-500 SC1N		Installations fixes dans les locaux poussiéreux. Machines à laver, cuisinières, aspirateurs, etc.
	U-250 SCM U-250 SVM		Petits appareils domestiques, lampes portatives, etc. Peu conseillé en installations fixes.
	U-250 SCOT U-250 SCT		Fers à repasser, réchauds, appareils d'éclairage. Déconseillé en installations fixes.
Câbles isolés, rigides, sous gaine d'étanchéité (câbles protégés)	U-500 VGPV		Pose en locaux exposés, poussiéreux, corrosifs. Interdit en locaux comportant des risques mécaniques et d'explosion.
	CGPFV		Locaux temporairement humides, poussiéreux ou à risques mécaniques.
	U-500 VGPFV		Idem à U-500 VGPV. Peut être enterré.
	U-500 VGVFV		Idem à U-500 VGPV. Traversées de parois d'épaisseur supérieure à 0,20 m.
Câble sous plomb isolé papier (T.B.T.)			Peut recevoir une protection mécanique, par deux feuillards d'acier. Réservé aux installations T.B.T. dans des locaux sans risques spéciaux. Signalisation et téléphonie.

Légendes

(1) Ame en cuivre massive ou câblée.
(2) Tube isolant en polychlorure de vinyle.
(3) Tube isolant en caoutchouc vulcanisé.
(4) Enveloppe isolante en néoprène.
(5) Gaine en polychorure de vinyle : bourrage.
(6) Cuirasse métallique lisse ou striée (cas des câbles cuirassés).
(7) Isolant minéral.
(8) Gaine de protection (tube lisse en cuivre).
(9) Enduit spécial.
(10) Tresse textile.
(11) Gaine d'étanchéité en plomb.
(12) Matelas : papier crêpé.
(13) Feuillard d'acier.
(14) (15) Rubans de papier enroulés en sens inverse.
(16) (17) Rubans de papier secs ou huilés enroulés en sens inverse.



S en mm² / série	1 cond. V	1 cond. CN	2 cond. V	2 cond. CN	3 cond. V	3 cond. CN	4 cond. V	4 cond. CN
1,5	6	6	6	8	8	10	8	12
2,5	6	6	6	8	8	10	10	12
4	6	6	8	10	10	12	12	15
6	6	8	10	12	12	15	15	20
10	8	8	12	15	15	20	20	20
16	8	10	15	15	20	20	20	25
25	10	12	20	20	25	25	25	30
35	12	15	20	25	25	30	30	35
50	15	15	25	25	30	30	35	



5. MATÉRIEL DE POSE DES CANALISATIONS ET RÈGLEMENTS

5.1. **Moulures, plinthes et chambranles.**

Ils peuvent être en bois résineux (pin, sapin) ou en matière thermoplastique. Les conducteurs utilisés sont des monoconducteurs isolés (série U-500 V et U-1 000 CN).

Constitution d'une moulure (fig. 1).

(1) semelle comportant des rainures destinées à recevoir les conducteurs.

(2) couvercle fermant les rainures.

(3) ligne tracée sur le couvercle et indiquant l'emplacement des pointes ou des vis de fixation.

Pour les moulures en matière thermoplastique; le couvercle se pose directement sur la semelle sans autre matériel (fig. 2).

Différents types.

• Moulure bois à couvercle plat : 2, 3, 4 ou 5 rainures de 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35 mm. Longueur commerciale usuelle : 2 m.

Exemple : moulure de 2 × 6 (moulure avec 2 rainures larges de 6 mm).

• Moulure de chambranle (fig. 3) : 2, 3, 4 rainures de mêmes largeurs que les moulures à couvercle plat, longueur commerciale : 2,30 m.

• Moulure de caniveau. Dimensions intérieures : largeur 24 mm, hauteur 6 mm.

• Moulure de plinthe (fig. 4) : 4 rainures de 6 mm, hauteur 110 mm, épaisseur 13 mm.

• Moulure thermoplastique (fig. 2). Elle tend à remplacer la moulure en bois à cause de sa bonne tenue aux acides, sa solidité mécanique, son isolant difficilement inflammable, la possibilité d'adjonction rapide de nouveaux conducteurs, la visite de câblage, sa facilité de pose et la propreté de l'installation.

• Sections utiles en mm² : 2 × 40, 2 × 104, 2 × 250, 3 × 270. Dimensions courantes en mm (hauteur et largeur) : 10 × 20, 10 × 30, 19 × 50, 17 × 60.

Longueur commerciale : 2 m, en divers coloris (gris, blanc, etc...).

Emploi :

• Locaux secs ou temporairement humides.

• Locaux humides (moulure imprégnée d'un enduit hydrofuge et posée sur taquets l'écartant des parois).

• Interdit dans locaux mouillés, emplacements à l'extérieur et à découvert.

Règlements techniques de pose.

• L'emploi de plinthes creuses sans couvercle et ne comportant qu'une seule rainure n'est pas admis pour le passage des conducteurs.

• Les clous ou vis servant à la fixation des moulures et des couvercles doivent être disposés à l'endroit prévu à cet effet et notamment le long des lignes de pose tracées sur les couvercles, sans qu'il en résulte de débardage des cloisons ni d'éclats.

• Les moulures sont placées au niveau du plafond, en retombée de plafond ou en astragale, ou immédiatement au-dessus des plinthes.

• Les conducteurs doivent se loger librement dans les rainures (tableau 5).

• Angles des rainures arrondis aux changements de direction.

• Moulure posée à 3 cm des conduits ou canalisations non électriques.

• Moulure non placée parallèlement et au-dessous des canalisations pouvant donner lieu à condensation (canalisation de vapeur, d'eau, de gaz, etc.).

• Croisement de canalisations affectées à un autre usage : — pont en moulure (fig. 6) — pont en conduit rigide (fig. 7) — passage en tranchée sous conduit recouvert de plâtre et émergeant de part et d'autre (fig. 8).

• A distance des canalisations de chauffage ou d'air chaud et des conduits de fumée.

• Raccordement des conducteurs : matériel de raccordement à vis.

• Ne doit pas être noyée dans la maçonnerie, ni recouverte par des tentures en papier, tissu, ou toute autre matière. Le couvercle doit rester apparent.

• Traversées de murs et cloisons : baies ou trémies, traversée en moulure ; autres cas, emploi de conduit rigide (fig. 9).

• Absence de plinthe : partie inférieure des moulures à 10 cm au-dessus du sol fini.

① 1er groupe : 3 lettres et 1 chiffre

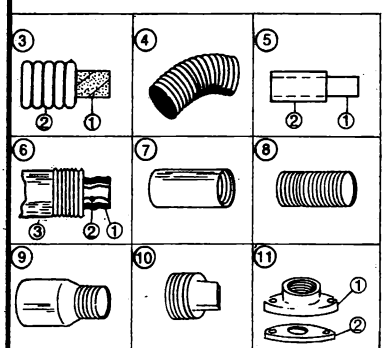
1re lettre		2e lettre		3e lettre	
Isolement		**Façonnage**		**Résistance mécanique**	
M	sans isolement (Métal nu)	**R**	Rigide (cintrable à l'outil)	**B**	Blindé (haute résistance)
F	Isolt intérieur (Fourreau)	**C**	Cintrable à la main	**O**	Ordinaire (résistance moyenne)
I	Isolt par matériau utilisé (Isolé)	**S**	Souple	**D**	Déformable et cintrable par compression

Chiffre correspondant au degré de protection contre les dommages mécaniques 3-5-6-7-9 (voir tableau **2**).

2e groupe de lettre donnant les **autres qualités** des conduits : **A,** Anticorrosion ; **P,** Non Propagateur de la flamme ; **E,** Étanche.

② Résistance mécanique

Écrasement	Degré protection	Type de conduits	R. à l'écrasement Force appliquée en N	R. aux chocs Énergie de choc en J
ordinaire O	3	FRO 3	100	0,5
	5	IRO 5	750	2
		ICO 5	400	6
Déformable D	6	ICD 6		
Blindé B	7	MSB 7	1 500	6
	9	MRB 9	4 000	20



5.2. Conduits.

On pose dans ces conduits des conducteurs isolés ou des câbles unipolaires ou multipolaires.

— **Symbolisation des conduits.** Les différents types sont désignés par des groupes de lettres et de chiffres résumant leurs caractéristiques : tableau 1.

Exemple : conduit IRO 5-APE. Conduit isolé, rigide, ordinaire, degré de protection 5. Anticorrosion, non propagateur de la flamme, étanche.

— Classification générale des tubes du point de vue de leur résistance mécanique : tableau 2.

— **Tubes ordinaires,** à résistance mécanique moyenne :

- rigides en tôle plombée FRO 3-PE(1) ;
- rigides en polychlorure de vinyle IRO 5-APE ;
- souples en acier ondulé FCO 5-PE ;
- souples en polychlorure de vinyle ICO 5-APE.

Fig. 3 : *(1)* Papier imprégné d'un mélange le rendant inaltérable à l'humidité ; *(2)* Feuillard métallique présentant une résistance convenable à la rouille et à la corrosion.

— **Tuyaux isolants** flexibles, cintrables, ordinaires (gaine annelée) (fig. 4).

— **Tubes déformables** (ployables, compressibles).

- inflammables en polyéthylène, avec ou sans tire-fils : ICD 6-AE.
- non propagateur de la flamme, en polyéthylène, avec ou sans tire-fils : ICD 6-APE.

— **Tubes blindés,** à haute résistance mécanique.

- rigides en acier émaillé ultérieurement et extérieurement avec fourreau soudé, fileté aux deux extrémités : MRB 9-PE. Fig. 5 : *(1)* Tube ; *(2)* Manchon.
- souples, en acier spiralé, non étanches (MSB 7-P) et étanches avec gaine plastique (MSB 7-APE) Fig. 6. *(1)* Papier imprégné ; *(2)* Feuillard métallique ; *(3)* Polychlorure de vinyle.

— **Présentation commerciale.**

- gamme : 9-11-13,5-16-21-29-36-48.
- livraison : MRB 9, IRO 5 en longueur de 3 m ; MSB 7, ICO 5, ICD 6, FCO 5 en couronnes.

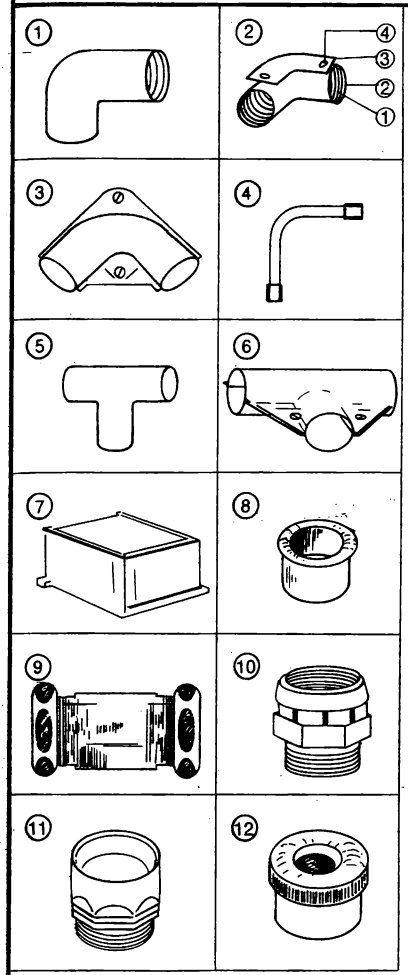
5.2.1. **Accessoires.**

Ils assurent la continuité des conduits, l'aménagement de leurs extrémités, le maintien en place.

— MRB 9.

- **Raccordement en prolongement** : manchon (fig. 7) ; Mamelon (fig. 8) ; Raccord à visser ; Réducteur ou amplificateur (fig. 9) ; Bouchon (fig. 10) ; Bride à embase taraudée (fig. 11) : *(1)* Corps ; *(2)* Rondelle d'étanchéité.
- **Raccordement à angle droit.** (E. 128) Coude d'équerre fermée, en acier, fonte ou alliage léger (fig. 1). Coude d'équerre ouvert (fig. 2) *(1)* Corps ; *(2)* Joint liège assurant l'étanchéité ; *(3)* Couvercle ; *(4)* Vis. Coude d'équerre en deux pièces vernies (fig. 3). Coude normal constitué d'un tube métallique cintré mécaniquement et fileté aux deux extrémités sur une longueur correspondant à un demi-manchon (fig. 4).
- **Dérivation de la canalisation sans raccordement de conducteurs.** (E. 128) Té fermé (fig. 5). Té deux pièces vernis (fig. 6).
- **Dérivation aux raccordements de conducteur.** (E. 128) Boîtes en tôle d'acier non étanches, étanches non percées, étanches avec entrées (fig. 7).

(1) Ces tubes tendent à disparaître du commerce.



⑬ Référence	Rayons de courbure (mm)			
	IRO 5 MRB 9	ICO 5	MSB 7	ICD 6
9	90	55	27	80
11	110	65	33	90
13	120	75	38	110
16	135	85	43	120
21 ou 23	170	115	60	140
29	200	140	70	200
36	250	175	90	250
48	300	200	110	300

• **Protection des conducteurs** aux sorties de la canalisation en extrémité libre. Embout (fig. 8). — MSB.
• Manchon de raccordement en laiton (fig. 9).
• Embouts d'extrémité pour gaine nue (fig. 10), pour gaine étanche (fig. 11).
• Terminus (fig. 12).
— IRO. Mêmes accessoires que pour le MRB 9 mais en matière plastique.

5.2.2. **Méthode générale d'exécution.**

• **Cintrage.** Les rayons de courbure doivent être au moins égaux aux valeurs indiquées dans le tableau 13. Les conduits ICO et IRO peuvent être cassants si on les cintre à une température inférieure à −5 °C ; ils se ramollissent vers +70 °C et subissent des retraits. Les conduits ICD peuvent être mis en œuvre de 10 °C (au-dessous ils deviennent trop rigides) jusqu'à +70 °C ; au-delà ils sont trop mous et subissent un retrait assez important.

• **Pose.** Il est recommandé, notamment pour les conduits rigides (R), de poser d'abord les conduits et leurs accessoires de raccordement, les conducteurs n'étant tirés que lorsque l'ensemble constitué par les conduits et leurs accessoires est complètement mis en place et raccordé.

En ce qui concerne les conduits déformables (D), les conducteurs peuvent être mis en place dans les conduits avant pose de ces derniers, sous réserve que les conducteurs ne risquent pas d'être détériorés à la pose et qu'il soit possible de les remplacer ultérieurement en cas de besoin.

• **Choix des dimensions des conduits.** Les dimensions intérieures des conduits et des accessoires de raccordement doivent permettre de tirer et de retirer facilement les conducteurs ou câbles après la pose des conduits et de leurs accessoires.

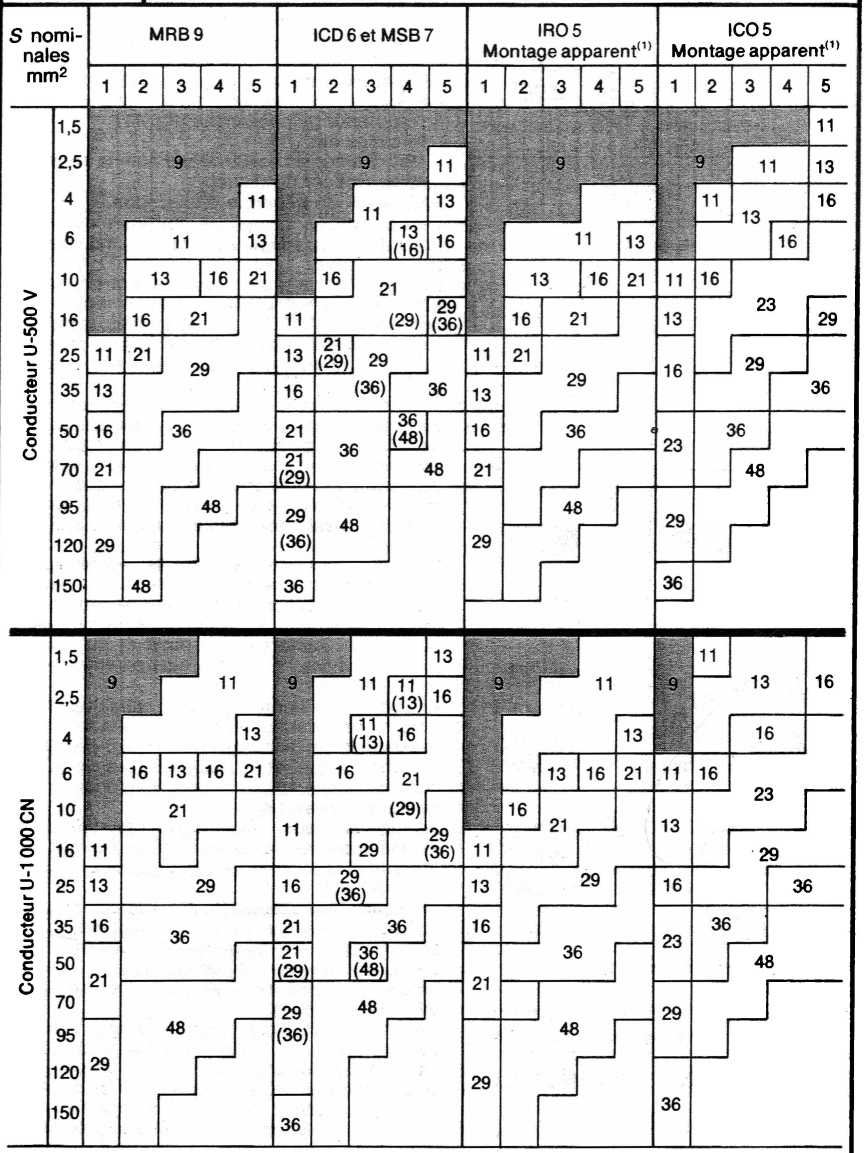
Le tableau, page 140, indique les numéros de référence des conduits à utiliser suivant le nombre et la section des conducteurs (U. 500 V et U 1000 CN).

• **Fixation des conduits.** On utilise des pattes, colliers ou étriers appropriés ; l'emploi de crochets à gaz est formellement interdit. Les points de fixation sont déterminés suivant la nature des conduits et en tenant compte des effets de dilatation.

Les moyens de fixation sont protégés efficacement contre la rouille ; ils sont solidement fixés par scellement, tamponnage, chevillage. Une fixation est nécessaire de part et d'autre de tout accessoire et de tout changement de direction. Il est recommandé d'adopter les distances suivantes entre les points de fixation : 0,80 m pour les conduits rigides (R), 0,60 m pour les cintrables (C), 0,33 m pour les couples (S).

• **Coupe ou filetage.** Toute bavure intérieure susceptible de dégrader l'isolant des conducteurs doit être retirée.

VIII - INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES



(1) Pour un montage encastré la colonne 1 n'existe pas et il faut remplacer 2, 3, 4 et 5 par 1, 2, 3 et 4 conducteurs.
Les valeurs indiquées entre parenthèses s'appliquent aux conduits ICD 6.

5.2.3. **Règlements techniques de pose en montage apparent.**

• Pose de façon à éviter l'introduction ou l'accumulation de l'eau : évacuation de l'eau assurée aux points bas.

• Protection des conducteurs assurée mécaniquement de façon continue. Le raccordement des conduits entre eux s'effectue à l'aide d'accessoires de raccordement qui doivent conférer aux conducteurs une protection mécanique et électrique au moins équivalente à celle procurée par les conduits avec lesquels ils sont assemblés. Pour les conduits IRO, l'assemblage peut s'effectuer par emboîtage.

• Applications d'une peinture antirouille sur les parties mises à nu lors du façonnage (filetage, cintrage, etc.) des conduits.

• Continuité électrique convenablement assurée lorsque les conduits M doivent être mis à la terre. Pour les tuyaux métalliques flexibles, la distance entre deux mises à la terre consécutives doit être de 10 m au maximum.

• Les conduits ne peuvent pas servir de conducteur de protection ni de conducteur de terre.

• Pour les traversées de murs et de parois un supplément de protection est nécessaire si une action chimique est à craindre.

• Voisinage des conduits ou canalisations non électriques : distance minimale 3 cm. Ne doivent pas être placés parallèlement sous des canalisations pouvant donner lieu à des condensations.

• Croisement des canalisations affectées à un autre usage : pont ou tranchée, distance minimale 3 cm.

5.2.4. **Règlements techniques de pose en montage encastré.**

• Les conduits de degré de protection 5 ne peuvent être posés avant la construction de la maçonnerie que s'ils sont à l'abri de toute contrainte mécanique importante pendant les travaux de construction. On peut poser ces conduits dans les parois verticales en béton banché (parcours verticaux seulement), les cloisons préfabriquées de hauteur d'étage, les planchers préfabriqués, les huisseries et dans le parcours séparant l'huisserie du plafond.

Si le mode de construction n'assure pas une protection suffisante la pose des conduits ne peut être effectuée qu'après construction de la maçonnerie ; ils doivent être installés et bloqués dans des saignées dont les dimensions sont suffisantes pour qu'ils soient parfaitement recouverts par la couche d'enduit protecteur.
On passe un conducteur de moins qu'en montage apparent.

• Les conduits de degré de protection supérieur à 5 (ICD, MSB, MRB) sont admis soit avant la construction de la maçonnerie, soit après.
S'ils sont posés avant, ils sont fixés aussitôt mis en place de manière qu'aucun élément ne puisse se déplacer avant achèvement complet de la construction. S'ils sont posés après, ils sont installés et bloqués dans des tranchées dont les dimensions sont suffisantes pour qu'ils soient parfaitement recouverts par la couche d'enduit protecteur.

• Les conduits de degré 6 et 7 ne peuvent être posés sur les planchers en dalle pleine avant coulage de la chape que si des précautions sont prises pour les soustraire aux risques mécaniques dus aux aléas de chantiers.

• Les conduits ICD 6 qui ne possèdent pas la qualité de non-propagation de la flamme et qui sont caractérisés par la couleur jaune-oranger, doivent être complètement enrobés par des matériaux incombustibles.

• Les couvercles des boîtes de raccordement doivent rester accessibles et démontables après encastrement.

• La distance de 3 cm imposée dans le cas de voisinage de canalisations (électriques ou non électriques) ne concerne pas les conduits en montage encastré.

• Il est interdit d'exécuter des montages encastrés dans les parois des conduits de fumée, ou dans les cloisons de doublage de ces parois. Ils sont autorisés dans les parois de gaine de ventilation, lorsque l'épaisseur de celles-ci est supérieure à 0,08 m.

• Ne sont pas admis : l'encastrement en tracé oblique, l'encastrement horizontal au-dessus des baies. Les conduits ne doivent pas comporter de raccords sur leur parcours encastré.

5.3. POSE DES CABLES

5.3.1. **A l'air libre.**
Fixation directe, pose sur chemin de câble, tablettes, corbeaux.
— Conducteurs utilisés. Seuls les câbles (unipolaires ou multipolaires) sont admis en pose à l'air libre. Les câbles sont :

- soit fixés aux parois à l'aide de colliers, attaches, ou autres moyens de fixation ;
- soit posés sur des chemins de câbles, tablettes ou supports analogues.

Les câbles utilisés sont :

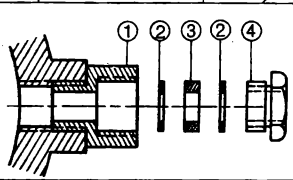
- des câbles rigides isolés au polychlorure de vinyle (AO 5 VV-U ou K, U-500 V G P V) ;
- des câbles rigides isolés au polyéthylène réticulé (U-1 000 R 12 N, U-1 000 R 2 V, U-1 000 R G P F V) ;
- des câbles isolés au papier imprégné ;
- des câbles résistant au feu, lorsque cette caractéristique est exigée.

Des câbles souples isolés au caoutchouc (série 07 RN-F) peuvent être utilisés pour alimenter un matériel installé à poste fixe nécessitant une alimentation sans prise de courant : desserte de certains organes de machines lorsqu'on désire éviter la présence d'une connexion supplémentaire.
Sous certaines conditions on peut utiliser des conducteurs blindés à isolant minéral.

Pose et montage des câbles.

- Les moyens de fixation, chemins de câbles, tablettes, etc., doivent être choisis et disposés de manière à ne pas pouvoir porter préjudice aux câbles.
- Lors de la pose, il faut éviter soigneusement d'écraser ou de déchirer le tube de plomb ou la gaine. Le rayon intérieur de courbure ne doit pas être inférieur à la valeur indiquée dans le tableau 1. Par −5 °C on double ces valeurs.
- La fixation des câbles doit se faire en des points suffisamment rapprochés pour ne pas être susceptibles de s'incurver sous l'effet de leur propre poids. Dans un parcours horizontal la distance maximale doit être de 0,40 m pour les câbles ne comportant aucun revêtement métallique (U-500 VGPV, A0 5 VV-U ou K, U-1 000 R 12 N, U-1 000 R 2 V), pour les câbles non armés isolés au papier imprégné et pour les câbles résistant au feu. Elle doit être de 0,75 m pour les câbles comportant un revêtement métallique (U-1 000 RGPFV) et pour les câbles armés isolés au papier imprégné.
En parcours vertical, ces distances peuvent être augmentées jusqu'à une valeur de 1 m, à condition de limiter l'effort exercé sur l'âme des conducteurs par le poids des câbles. Les crochets à gaz sont interdits.
- Dans le cas de croisement de canalisation affectées à un autre usage, celui-ci est effectué par un point laissant une distance d'au moins 3 cm entre les surfaces extérieures des canalisations.
- Les extrémités des conducteurs et câbles sont rendues étanches à l'aide de boîtes, de coiffes d'extrémité ou de presse-étoupe (conditions d'influences externes). La figure 2 représente un presse-étoupe pour câbles isolés au caoutchouc *(1)* Corps ; *(2)* Rondelles en tôle ; *(3)* Caoutchouc (sur plomb du câble) ; *(4)* Écrou. Les boîtes d'extrémité assurent l'étanchéité, la protection mécanique, l'isolement.
- Les boîtes de jonction et de dérivation assurent la protection contre les contacts directs. La continuité des tubes de plomb, de part et d'autre de ces boîtes doit être assurée.

① Conducteurs et câbles		R de courbure ≥ à	
VGPV, Câbles résistant au feu		10	fois le diamètre extérieur des câbles
RGPFV		8	
AO 5 VV-U (ou K) R 12 N-R 2 V		6 6	
Isolés au papier imprégné	— armés • unipolaire • multipolaire — non armés • unipolaire • multipolaire	 12 8 15 10	

② 

Pose et montage des conducteurs blindés à isolant minéral.

La figure 1 E 132 représente la constitution générale d'un conducteur. *(1)* Ame ; *(2)* Isolant minéral ; *(3)* Gaine de protection ; *(4)* Enduit (éventuellement).

- Lors de la pose, il faut veiller à ne pas déchirer ou rompre la gaine au contact d'arêtes tranchantes ou par un cintrage excessif.

• Le rayon intérieur de courbure ne doit pas être inférieur à 2 fois le diamètre extérieur du conducteur s'il est inférieur à 7 mm ; 3 fois, s'il est compris entre 7 et 12 mm ; 4 fois, s'il est supérieur à 12 mm.

• Les points de fixation doivent être suffisamment rapprochés pour que les canalisations ne soient pas susceptibles de déformation. On utilise des brides, gâches, colliers en métal ne portant pas préjudice à la conservation de la gaine. L'emploi de taquets bois est interdit.

• Les extrémités des conducteurs doivent être protégés de l'humidité par des jonctions étanches et l'isolation doit être séchée avant application du produit d'étanchéité.

• Les connexions et dérivations se font au moyen de boîtes ou dispositifs équivalents pourvus de couvercles amovibles ou démontables assurant à la fois la continuité de la protection mécanique, l'isolation ou l'inaccessibilité des connexions et permettant leur fixation en cas de besoin. La jonction de deux conducteurs peut aussi être réalisée à l'aide d'appareils spéciaux, fixes ou démontables, désignés sous le nom de « jonction ».

La figure 2 représente un raccordement de deux conducteurs un prolongement au moyen de raccords d'extrémité : *(1)* Conducteur ; *(2)* Chapeau de presse-étoupe (laiton) ; *(3)* Grains en laiton ; *(4)* Bague d'étanchéité (caoutchouc) ; *(5)* Rondelles spéciales de masse destinées à assurer la continuité de la mise à la terre ; *(6)* Corps de jonction (laiton) ; *(7)* Tube isolant (bakélite) ; *(8)* Gaine isolante ; *(9)* Raccord droit (laiton) ; *(10)* Entretoises isolantes (léathéroïd) ; *(11)* + *(12)* + *(13)* Raccord d'extrémité.

5.3.2. **Goulottes et gouttières.** Les indications relatives aux câbles utilisés pour la pose à l'air libre, de même que leur montage, sont applicables. Les conducteurs isolés ne sont pas admis dans les gouttières ; ils sont admis dans une goulotte sous réserve qu'elle soit à parois pleines et munie d'un couvercle démontable seulement à l'aide d'un outil. De préférence, les câbles sont disposés en une seule couche. Des connexions sont admises dans les goulottes à couvercle démontable à l'aide d'un outil (conditions d'accessibilité des connexions).

Les conditions de remplissage des goulottes doivent tenir compte des dimensions des connexions et des facteurs de réductions des courants admissibles en fonction du nombre de conducteurs groupés.

5.3.3. **Gaines.** Le choix des canalisations doit seulement tenir compte des risques présentés par le local.

5.3.4. **Caniveaux.** On utilise soit des câbles, soit des conducteurs isolés posés dans des conduits.

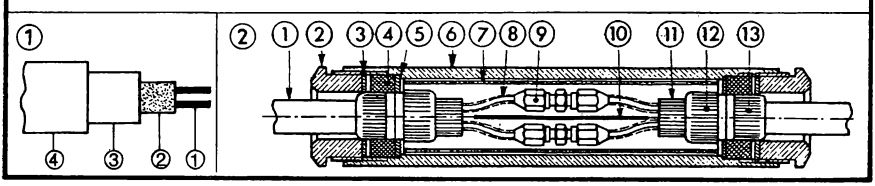
5.3.5. **Vides de construction.** On utilise des conducteurs isolés ou des câbles à condition qu'ils puissent être posés ou retirés sans intervention sur les éléments de construction du bâtiment.

5.3.6. **Huisseries métalliques.**

— Cas de fermeture longitudinale : passage de canalisations électriques (sous conduit, câbles posés directement) dans le vide de la construction.

— Cas de non fermeture : emploi de conducteurs isolés posés sous conduit.

5.3.7. **Canalisations préfabriqués.** Les éléments, appareillages, appareils d'utilisation intégrés et les dispositifs destinés à alimenter des conducteurs externes (prises de courant, blocs de jonctions, etc.) doivent répondre aux normes U.T.E.



6. CHOIX ET MISE EN ŒUVRE[1]

6.1. **Conditions.**

Lors de la conception d'une installation, le choix du matériel et son mode d'installation doivent permettre de satisfaire aux mesures de protection pour assurer la sécurité (personnes et biens) et un fonctionnement satisfaisant de cette installation.
Les matériels utilisés doivent être conformes aux règles de l'art en matière de sécurité et choisis en tenant compte des conditions de service : tension nominale, courant maximal, fréquence nominale, puissance maximale, courants de court-circuit, facteur de puissance. Ils doivent être choisis de manière à n'apporter, en service normal, de troubles ni aux autres matériels, ni au réseau d'alimentation, y compris lors des manœuvres.
Le choix doit tenir compte également des influences externes : contacts directs avec les parties actives ou en mouvement, pénétration de corps solides étrangers et des poussières ou liquides, dommages mécaniques, etc. Il faut donc s'assurer que le matériel convient du point de vue de la protection et qu'il possède les caractéristiques correspondant aux influences externes : température ambiante, humidité de l'air, altitude, présence de l'eau, de corps solides, de substances corrosives ou polluantes, etc.

6.2. **Accessibilité.**

Le matériel doit être disposé de façon à faciliter sa manœuvre, sa visite et son démontage en vue de son entretien et à permettre d'accéder à ses connexions.
Les conducteurs et câbles doivent être disposés de façon qu'on puisse en tout temps contrôler leur isolement et localiser les défauts. Les canalisations doivent permettre le remplacement des conducteurs détériorés.

6.3. **Identification et repérage.**

Les canalisations doivent être établies de façon à permettre leur identification ultérieure lors des vérifications, essais, réparations ou transformations de l'installation : plaques indicatrices, coloration des conducteurs, tracé des canalisations, etc.

6.4. **Dispositifs de protection contre les surintensités.**

Leur disposition doit permettre une facile reconnaissance des circuits protégés : groupement en tableaux, inscriptions pour identifications.

6.5. **Schémas.**

Ils doivent indiquer notamment :

- la nature et la constitution des circuits ; points d'utilisation desservis, nombre et section des conducteurs, nature des canalisations ;
- les caractéristiques des dispositifs assurant les fonctions de protection, de sectionnement, de commande, etc.

6.6. **Indépendance.**

Les matériels doivent être disposés de façon à empêcher que les installations non électriques du bâtiment exercent une influence matérielle dommageable sur l'installation électrique.
Lorsque des appareils parcourus par des courants de nature ou de tensions différentes sont groupés en un même tableau, pupitre de commande ou coffret de manœuvre, tous les appareils appartenant à un même genre de courant ou à une même tension doivent, dans la mesure du possible, être nettement séparés. Ils doivent être très nettement désignés.

6.7. **Choix des modes de pose des canalisations :** tableau **1** page 145.

La partie supérieure du tableau (canalisations) indique les conducteurs et câbles utilisables en fonction des conditions de pose et de fixation.
La partie inférieure indique les types de canalisations pouvant être utilisés suivant les conditions de montage.
Comme pour le matériel, le choix des canalisations est fonction des influences externes.

(1) Se reporter à la norme C 15.100.

① Canalisations / Conducteurs et câbles	Conduits	Moulures Plinthes	Colliers Attaches	Chemins de câbles	Corbeaux	Goulottes	Gouttières	Direct	Isolateurs
Cond. isolés	0	0	x	x	x	(4)	x	x	0
Câbles unipolaires	0	0	0(5)	0	0	0	0	0	0
Câbles multipolaires	0	1	0	0	0	0	0	0	–
Cond. isolant minéral	–	x	0	0	0	–	–	0	x
Cond. isolés en faisceaux	x	x	x	x	x	(4)	x	x	0
Cond. nus	x	x	x	x	x	x	x	x	0
Conditions de pose Montage									
Apparent	A	C	D-E	F	G	H	J	x	U
Encastré	B	x	x	x	x	x	R(2)	x	x
Gaines	A	C	D	F	G	H	J	x	x
Caniveaux	A	x	D	F	G	H	J	L	x
Vides	A	x	D	F	G	H	J	M	x
Alvéoles	–	x	x	x	x	x	x	N	x
Blocs alvéolés	–	x	x	x	x	x	x	P	x
Huisseries	B	x	x	x	x	x	x	Q	x
Enterrés	x	x	x	x	x	x	x	S(3)	x
Aérien	x	x	x	x	x	x	x	x	V
Immergé	x	x	D.E	F	G	x	x	W	x

② Intensités en A

Section nominale des âmes mm²	Colonnes 1	2	3	4	5	6	7	8
0,5		8	9	10	12			
0.75		10,5	12	13,5	15			
1	10,5	12	13,5	15	17	19	21	23
1,5	14	15,5	17,5	19,5	22	24	27	29
2,5	19	21	24	26	30	33	37	40
4	25	28	32	35	40	45	50	55
6	32	36	41	46	52	58	64	70
10	44	50	57	63	71	80	88	97
16	59	68	76	85	96	107	119	130
25	75	89	101	112	127	142	157	172
35	97	111	125	138	157	175	194	213
50		134	151	168	190	212	235	257
70		171	192	213	242	270	299	327
95		207	232	258	293	327	362	396
120		239	269	299	339	379	419	458
150		275	309	344	390	435	481	527
185		314	353	392	444	496	549	602
240		369	415	461	522	584	645	707

0 : Mode de pose admis dans des conditions énoncées dans les règles particulières aux différents modes de pose.
× : Mode de pose non admis.
1 : Autorisé sous certaines conditions.
– : Possible, mais difficilement utilisable en pratique.
Lettres : mode de pose défini dans les tableaux pages 130 et 131.
(1) Montage en galeries assimilé au montage apparent.
(2) Cond. blindés à isolant minéral seulement.
(3) Nécessite une protection complémentaire si les câbles ne sont pas armés.
(4) Admis seulement si la goulotte est munie d'un couvercle non démontable sans l'aide d'un outil.
(5) Si colliers ou attaches en matériau non magnétique.

③ Mode de pose(1)	Isolation: Caoutchouc, polychlorure de vinyle		Butyl, PRC éthylène, propylène	
	3 âmes	2 âmes	3 âmes	2 âmes
L_1, L_2 A, B, C, H, K	1	2	3	4
L_3, L_4, M, N P, Q(2)	2	3	4	5
D(3), E(3), F(3), G J, Q(3)	3	4	5	6
D(2), E(2), F(2), U(2)	4	5	6	7
U(3), V	5	6	7	8
L_5, S_1, S_2, S_3, W, R, T	•	•	•	•
	—	—	—	—

④ S phase mm²	S minimale : N mm²	S phase mm²	S minimale : N mm²
$S \leq 25$	S	150	70
35	25	185	95
50	25	240	120
70	35	300	150
95	50	400	185
120	70		

(1) Voir tableau pages 130 et 131 pour désignation des modes de pose.
Les chiffres représentent les colonnes à utiliser dans le tableau **2.**
(2) Câble unipolaire. (3) Câble multipolaire
• A l'étude (–) En attente.

6.8. **Courants admissibles dans les conducteurs.**

Ils ne doivent pas être supérieurs à certaines limites afin de ne pas détériorer les conducteurs.
Leur valeur dépend des modes de pose, de la section des conducteurs et du nombre de conducteurs pressant dans un conduit ou constituant un câble.
Le tableau **2** page 145 indique les courants admissibles pour quelques sections courantes en fonction des modes de pose précises par le tableau **3** (colonnes) : conducteurs en cuivre, température ambiante 30 °C.
Il est nécessaire d'utiliser un facteur de correction (en moyenne 0,60) aux intensités admissibles lorsque la température ambiante est plus élevée que 30 °C.
Lorsque des conduits sont groupés de façon jointive, les courants admissibles sont réduits en appliquant un facteur de correction moyen de 0,70.

6.9. **Chutes de tension.**

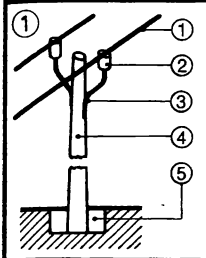
La chute de tension entre l'origine d'une installation et tout point d'utilisation ne doit pas être supérieure aux valeurs ci-dessous, exprimées par rapport à la valeur de la tension nominale de l'installation.
— Alimentation directe par un branchement à basse tension, à partir d'un réseau de distribution publique à basse tension : éclairage 3 %, autres usages 5 %.
— Alimentation par un poste d'abonné ou par un poste de transformation à partir d'une installation à haute tension : éclairage 6 %, autres usages 8 %.
Les chutes de tension sont déterminées d'après les puissances absorbées par les appareils d'utilisation, en appliquant le cas échéant des facteurs de simultanéité, ou, à défaut, d'après les valeurs des courants d'emploi des circuits.
Pour les circuits terminaux des installations des logements d'habitation, les conducteurs des circuits ont en pratique les sections suivantes : éclairage 1,5 mm^2, prises de courant 10/15 A, 2,5 mm^2, chauffe-eau 2,5 mm^2, machine à laver 4 mm^2, cuisinières 6 mm^2.
Dans les circuits polyphasés, la section du conducteur neutre peut être inférieure à celle des conducteurs de phase en fonction de la section de ces derniers, lorsque la puissance transportée est en majeure partie absorbée par des appareils alimentés entre phases et lorsque le courant maximal susceptible de parcourir le neutre en service normal est inférieur au courant admissible correspondant à la section réduite du neutre.
Le tableau **4** page 145 précise la valeur des sections minimales du conducteur neutre.
En aucun cas, le conducteur neutre ne doit être commun à plusieurs circuits.

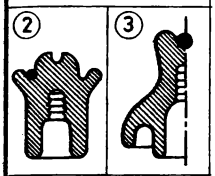
6.10. **Connexions.**

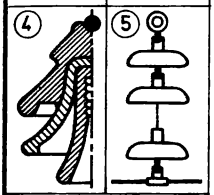
Les connexions des conducteurs entre-eux et avec les appareils doivent être effectuées de façon à assurer des contacts *sûrs* et *durables*. Elles doivent rester accessibles pour permettre leur vérification, leur resserrage éventuel, pour apprécier l'isolation des conducteurs et pour permettre la recherche des défauts. Elles doivent satisfaire aux conditions suivantes :
— être assurées par des dispositifs appropriés à la nature des conducteurs et à leur section ;
— être accessibles mais après démontage d'un couvercle ou d'un obstacle à l'aide d'un outil, de façon à permettre la vérification des contacts ;
— présenter un degré de protection par conception ou par montage.
Les conducteurs ne doivent comporter aucune connexion ou dérivation dans la traversée des murs, cloisons, plafonds, planchers, toitures, ni dans les vides de construction.

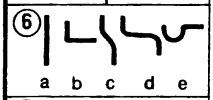
6.11. **Conditions générales de pose.**

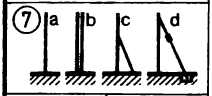
— La protection contre les influences externes conférée par le mode de pose doit être assurée de façon continue.
— Aux extrémités des canalisations et notamment aux endroits de pénétration dans les matériels, la protection doit être assurée de façon continue et le raccordement doit assurer, si nécessaire, l'étanchéité, par exemple à l'aide de presse-étoupe.
— Traversées de parois. Les canalisations autres que celles constituées de conduits de degré de protection au moins égal à 5, doivent comporter une protection mécanique supplémentaire constituée par un *fourreau*.
— Voisinage avec des canalisations non électriques.
Une distance de 3 cm doit être observée.
Les canalisations électriques ne doivent pas être placées parallèlement au-dessous des canalisations pouvant donner lieu à des condensations.

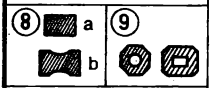


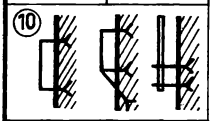


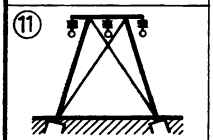


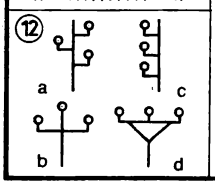












7. LIGNES AÉRIENNES

Ensemble de conducteurs destinés à transporter l'énergie électrique. Posées au-dessus du sol sur des supports convenables.

Constitution générale (fig. 1). *(1)* Conducteurs assurant la conduction de l'électricité ; *(2)* Isolateurs. Isolement des conducteurs entre eux et par rapport aux masses métalliques. Fixation des conducteurs ; *(3)* Ferrures. Supportent les isolateurs ; *(4)* Support. Fixation des ferrures à une hauteur qui rend les conducteurs inaccessibles ; *(5)* Élément de fixation du support (par rapport à la terre ou à une paroi).

Conducteurs. Nus, en cuivre, aluminium et alliages (almélec, aldrey). Conducteurs avec âme d'acier (aluminium ou alliage et fils d'acier) : résistance mécanique plus grande.

Isolateurs :

— rigides pour $U < 60\,000$ V, à simple cloche (BT) (fig. 2), à double cloche (BT) (fig. 3), en trois pièces (MT) (fig. 4).

— suspendus pour $U > 60\,000$ V, chaine d'isolateurs (fig. 5)

Ferrures pour isolateurs rigides (fig. 6). *(a)* droite ; *(bcd)* contrecoudées ; *(e)* col de cygne.

Supports (réseau de BT, 1re catégorie) :

— en bois (pin, sapin, mélèze, épicéa), de 9 à 15 m de longueur, injecté ou imprégné de produits chimiques augmentant la durée de conservation (créosote, sulfate de cuivre).
Types : simples (fig. 7 a), jumelés (fig. 7 b), contrefichés (fig. 7 c), haubanés (fig. 7 d), selon l'effort en tête demandé au support.
Fixation sur socles en béton armé dans les terrains humides.

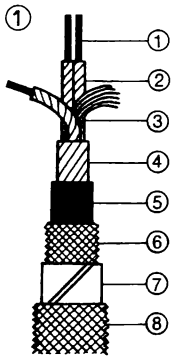
— en béton (réseaux ruraux ou urbains à BT et MT de 1re et 2e catégories).
Types : pleins, de section rectangulaire (fig. 8 a), profilés et ajourés pour les alléger (fig. 8 b), creux (fig. 9).
Peuvent être moulés (9 à 17 m) ou centrifugés (9 à 33 m).
Efforts au sommet variant de 150 à 300 kg.

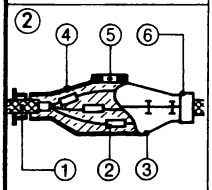
— métalliques. Consoles en fer profilé U, L, □, potelets en tubes galvanisés ronds, carrés, profilés L, U, assemblés dos à dos. Fixation sur pignon d'immeubles ou sur façades. Installations de 1re catégorie (fig. 10).
Pylônes métalliques (lignes à H.T., 3e catégorie) : hauteur dépassant 40 m, efforts en tête allant jusqu'à plusieurs tonnes.
Types : pylônes d'alignement (fig. 11), d'angle, d'arrêt, de traversées de voies publiques ou ferrées, pylônes rigides ou articulés.

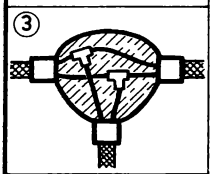
Armements. Disposition des câbles sur les supports.
Types : en quinconce (fig. 12 a), en triangle (fig. 12 b), en drapeau (fig. 12 c), en nappe horizontale (fig. 12 d), (consoles en fer rond ou profilés de dimensions appropriées).
Bras en profilés ou en treillis sur les pylônes métalliques.

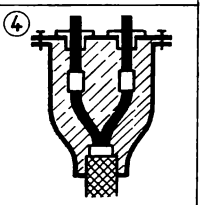
Exécution des travaux. Transport des supports, fouilles, fondations, scellement des potelets, levage des supports, armement des supports, déroulage des conducteurs, réglage, attache, raccordement, essais d'isolement et de réception.

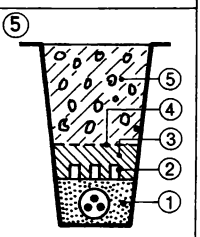
VIII - INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

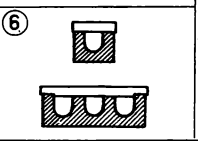












8. LIGNES SOUTERRAINES

Passage sous terre des canalisations lorsque leur pose aérienne présenterait de graves inconvénients (agglomérations importantes, centrales, mines, aérodromes, etc.).

Seuls sont admis en pose enterrée des câbles dans les conditions suivantes :

— les câbles armés d'acier, comportant sous l'armure une gaine d'étanchéité, peuvent être placés directement dans le sol ;

— les câbles sans armure mais comportant une gaine épaisse nécessitent une protection mécanique indépendante contre le choc des outils métalliques à main ;

— les autres câbles doivent être placés dans des conduits ou fourreaux, ou protégés par des dispositifs équivalents contre les détériorations mécaniques.

Les câbles doivent être protégés contre les détériorations causées par le tassement des terres, le contact des corps durs, le choc des outils à main en cas de fouilles, ainsi que contre les actions chimiques causées par les éléments du sol.

Câbles armés. Se différencient par le nombre et la forme des conducteurs, le métal utilisé, la nature de l'isolant, la mise sous plomb et la protection mécanique.

Fig. 1 : câble armé à trois conducteurs. *(1)* Conducteurs en cuivre de haute conductibilité ; *(2)* Ruban de papier imprégné d'une matière isolante à base d'huile minérale et de résine ; *(3)* Bourrage en jute destiné à donner au câble une forme sensiblement cylindrique. *(4)* Couches de papier ; *(5)* Gaine de plomb (protection chimique). *(6)* Protection de jute ; *(7)* Feuillards d'acier (protection mécanique). *(8)* Filin goudronné.

Accessoires de raccordement.

Boîte de jonction : raccordement des câbles armés bout à bout (fig. 2). *(1)* câble armé. *(2)* accessoire de raccordement (douille à souder) ; *(3)* corps. *(4)* couvercle avec orifice de remplissage *(5)* ; *(6)* collier de serrage.

Boîte de dérivation (fig. 3) : dérivation d'un ou plusieurs câbles sur une canalisation principale.

Boîte d'extrémité (fig. 4) : raccordement d'un câble à un tableau, à une ligne en fils nus ou isolés.

Modes de pose.

Pose en tranchée : canalisations passant sous le trottoir dans les agglomérations, sur le bas côté des routes, etc.

Constitution d'une tranchée (fig. 5). *(1)* Lit de sable fin. *(2)* Briques ; *(3)* Remblayage terre sans cailloux ; *(4)* Grillage de fil de fer galvanisé ; *(5)* Remblayage terre quelconque.

Pose en caniveau : câble sous plomb non revêtu d'une armure (fig. 6).

Pose en galerie. Les câbles reposent sur des tablettes en béton armé (départ de centrales, sous-stations).

Exécution des travaux.

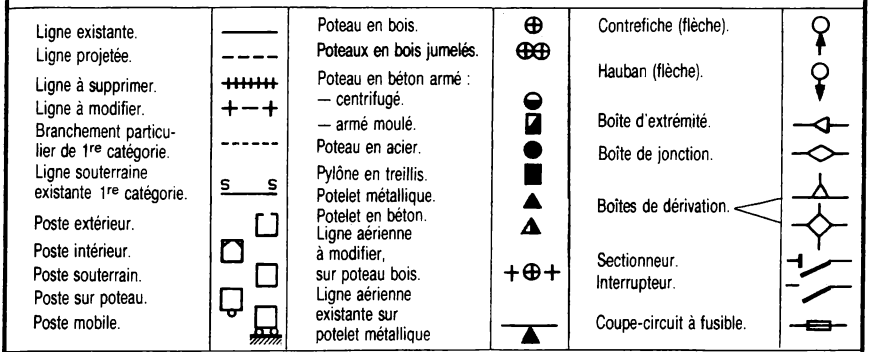
Exécution des tranchées, déroulage des câbles, confection des boîtes, coulage des boîtes.

Pour parer aux effets du tassement des terres, les câbles doivent être enfouis en terrain normal, au moins à 60 cm de la surface du sol, profondeur portée à 1 m à la traversée des voies accessibles aux voitures et dans une zone de 50 cm de part et d'autre des voies accessibles.

Lorsqu'une canalisation enterrée croise une autre canalisation électrique enterrée, elles doivent se trouver à une distance minimale de 20 cm.

Toute canalisation enterrée doit être signalée par un dispositif avertisseur non corrodable placé au moins à 10 cm au-dessus d'elle.

9. SYMBOLES POUR L'ÉTABLISSEMENT DES CARTES DE RÉSEAUX (d'après norme U.T.E. NFC 03-320).



10. VOCABULAIRE ÉLECTROTECHNIQUE concernant la production, la transmission et la distribution de l'énergie, d'après publication NFC 01-025.

• **Carte de réseau.** Carte géographique sur laquelle est porté le tracé approximatif et très simplifié des ouvrages et des lignes de transport et de distribution d'énergie.

• **Sous-station.** Ensemble des appareils de transformation ou de distribution installés dans un bâtiment (ou à l'air libre), destinés à l'alimentation d'un réseau électrique et ordinairement soumis à une surveillance. Sous-stations : à groupes rotatifs (machines tournantes), de transformation (transformateurs), à redresseurs.

• **Poste de couplage.** Couplage des lignes qui aboutissent, avec ou sans départs de lignes de distribution, mais sans transformation.

• **Cabine de transformateurs.** Local dans lequel sont installés des transformateurs destinés à l'alimentation des réseaux à basse tension.

• **Réseau de distribution.** Ensemble des lignes assurant une distribution d'énergie, comportant des nœuds et éventuellement des mailles.

• **Branchement.** Canalisations reliant une installation d'abonné avec un réseau.

• **Maille.** Ensemble de lignes d'un réseau qui relient plusieurs nœuds en formant un circuit fermé.

• **Nœud.** Point de jonction de plusieurs conducteurs d'un réseau.

• **Artère ou feeder.** Ligne qui relie directement une usine électrique ou une sous-station à un point du réseau de distribution, sans fournir de courant le long de son parcours.

11. PUBLICATIONS

• C 11-000. Arrêté ministériel du 30-4-1951. Conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

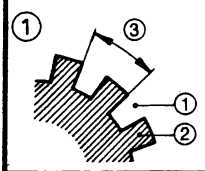
• C 11-200. Cahier des charges types des travaux d'électrification rurale.

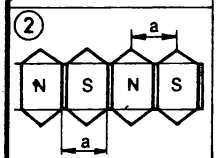
• C 13-100. Règles pour la construction et l'installation des postes d'abonnés établis à l'intérieur d'un bâtiment et raccordés à un réseau de distribution de 2e catégorie.

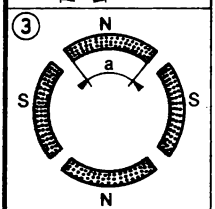
• NFC 14-100. Exécution et entretien des installations comprises entre la canalisation de distribution publique et l'origine de l'installation intérieure de 1re catégorie.

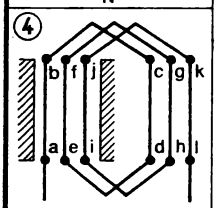
• NFC 15-100, circulaire et annexe. Exécution et entretien des installations de 1re catégorie.

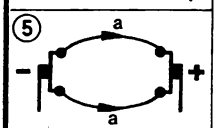
• U.T.E.C. 18-513 et la suite. Prescriptions au personnel employé à la construction et à l'exploitation des réseaux de transport et de distribution.

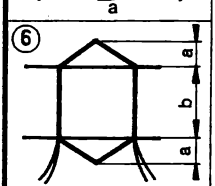


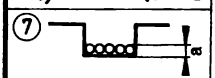


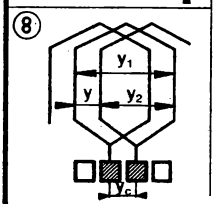












1. TERMES RELATIFS AUX ENROULEMENTS

• **Enroulement.** Ensemble de conducteurs formant un même circuit électrique dans un appareil ou une machine électrique.

• **Bobinage.** Ensemble des opérations nécessaires pour effectuer un enroulement.

• **Encoche** (rainure). Évidement pratiqué dans une pièce métallique pour y loger les conducteurs d'un enroulement (fig. 1-1).

• **Dent.** Partie en fer comprise entre deux encoches consécutives (fig. 1-2).

• **Pas dentaire.** Distance entre les points correspondants de deux dents consécutives (fig. 1-3).

• **Pas polaire.** Distance périphérique entre les points de même position sur deux pôles consécutifs (fig. 2-a).

• **Face polaire.** Surface de l'épanouissement ou de la pièce polaire faisant face à l'entrefer (fig. 3-a).

• **Conducteur élémentaire.** Elément d'un conducteur subdivisé (fig. 4-ab).

• **Faisceau de conducteurs.** Conducteurs placés dans une même encoche et appartenant à une même section ou à une même bobine élémentaire (fig. 4-ab-ef-ij).

• **Spire.** Partie élémentaire d'un enroulement dont les extrémités sont, en général, très rapprochées l'une de l'autre (fig. 4-abcde).

• **Section.** Ensemble des conducteurs comprenant deux faisceaux. Plus petite partie d'un enroulement dont les extrémités sont connectées à deux lames de collecteur (fig. 4).

• **Voie d'enroulement.** Ensemble des sections d'un induit à collecteur qui, à un instant donné, se trouvent en série entre deux balais consécutifs de signes contraires. *Exemple :* 2 voies a (fig. 5).

• **Bobine.** Groupement, sous un garnissage commun, des sections situées dans les mêmes encoches (fig. 6, bobine à deux sections).

• **Tête de bobine.** Partie extérieure au fer, comprise entre deux encoches (fig. 6-a).

• **Côté de bobine** (ou de section). Partie d'une bobine logée dans une encoche (fig. 6-b).

• **Couche d'un enroulement réparti.** Ensemble des conducteurs situés à une même distance du fond de l'encoche (fig. 7-a).

• **Intervalle au collecteur.** Portion du collecteur comprise entre les deux points correspondants de deux lames voisines.

• **Pas au collecteur.** Nombre d'intervalles au collecteur compris entre les extrémités d'une section d'induit (fig. 8-y_c).

• **Pas partiel d'un enroulement en tambour** (fig. 8).
— Pas avant y_2 : pas composant côté collecteur (avant).
— Pas arrière y_1 : pas composant côté opposé au collecteur (arrière).
— Pas résultant y : résultante des pas y_1 et y_2.

• **Enroulement primaire d'une machine à induction.** Enroulement alimenté par le réseau.

• **Enroulement secondaire.** Enroulement non connecté au réseau.

• **Enroulements :**

— **en anneau.** Spires entourées autour d'un noyau magnétique en forme d'anneau, de façon que l'un des côtés de chaque spire passe à l'intérieur de l'anneau.

— **en tambour.** Bobines disposées sur la surface cylindrique (soit interne, soit externe) d'un noyau magnétique.

— **sur gabarit.** Éléments qui reçoivent leur forme avant d'être placés dans les encoches.

— **à fils tirés.** Tirage des conducteurs à travers les encoches.

— **à pas diamétral.** Les sections ont une largeur égale au pas polaire.

— **à pas partiel.** Le pas moyen de la bobine n'est pas égal au pas polaire.

Pas raccourci (pas moyen inférieur au nombre d'encoches par pôle).

Pas allongé (pas moyen supérieur).

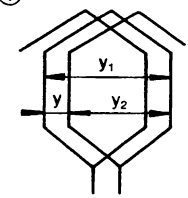
— **à nombre entier d'encoches par pôle et par phase.** Nombre identique pour tous les pôles.

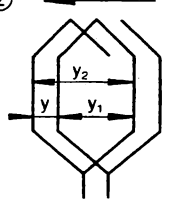
— **à nombre fractionnaire d'encoches par pôles et par phase.** Le nombre moyen d'encoches n'est pas entier.

— **imbriqué.** Pas partiels de sens contraire : généralement adopté pour les enroulements parallèle simple et parallèle multiple.

— **ondulé.** Pas partiels de même sens (enroulements série et série-parallèle).

— **enchevêtré** (à bobines concentriques). Enroulement monophasé ou polyphasé sans collecteur dans lequel chaque phase comporte, par pôle ou paires de pôles, une bobine formée de bobines élémentaires concentriques.

① 

② 

③ $y_1 = \frac{F}{2p}$

$y_2 = y_1 \pm 2$

$L \simeq \frac{2}{3}\frac{F}{2p}$

— **parallèle simple.** Pas au collecteur égal à l'unité.

— **parallèle multiple.** Pas au collecteur supérieur à l'unité et inférieur au pas polaire.

— **série.** Enroulement à deux voies, dont le pas au collecteur est voisin d'un double pas polaire.

— **série-parallèle.** Plus de deux voies, pas au collecteur voisin d'un double pas polaire.

• **Section morte.** Section qui ne fait pas partie du circuit d'un enroulement et dont le seul rôle est de remplir un espace inutilisé.

• **Connexion équipotentielle.** Connexion établie dans un bobinage soumis à des f.e.m. variables, entre des points dont les potentiels devraient rester normalement égaux entre eux.

2. MACHINES A COURANT CONTINU

Règles d'établissement.

Bobinages imbriqués.

pas $y = y_1 - y_2$.

Si $y_1 > y_2$, l'enroulement progresse vers la droite (fig. 1).

Si $y_1 < y_2$, il progresse vers la gauche (fig. 2).

Formules 3. F : nombre de faisceaux induits.

2 p : nombre de pôles.

y_1 et y_2 doivent être impairs (fermeture de l'enroulement) : $\pm$ 1 si nécessaire.

Pour ne pas introduire de f.e.m. en opposition, y_1 et y_2 doivent être supérieurs à la largeur d'un pôle L.

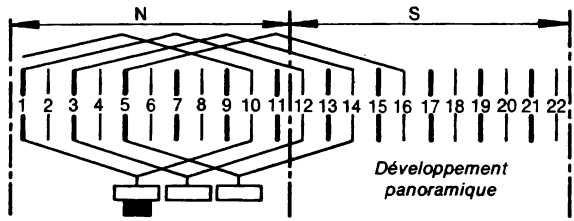
Exemple : machine bipolaire 22 faisceaux, 11 encoches.

— Calcul $y_1 = \frac{F}{2p} = \frac{22}{2} = 11$ (convient car impair). $y_2 = y_1 - 2 = 11 - 2 = 9$.

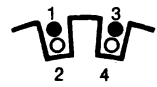
Vérification $L \approx \frac{2}{3} \times \frac{22}{2} = 7{,}2$ $y_1 = 11$, $y_2 = 9 > 7{,}2$ (condition réalisée).

— Canevas. AR ⟶ 1-12 3-14 5-16 7-18 9-20 11-22 13-2
AV ⟵ 12-3 14-5 16-7 18-9 20-11 22-13 ... (voir fig. 1)

①



dans une même encoche : faisceaux 1-2, 3-4, 5-6 etc.
1-3-5 au-dessus
2-4-6 au-dessous



Bobinages ondulés.

Pas $y = y_1 + y_2$. y_1 et y_2 impairs, donc y pair, y_1 et $y_2 > L$

$y_2 = y_1 \pm 2$ (car y_1 et y_2 aussi rapprochés que possible, $y_1 = y_2$ si possible).

$y = \frac{F \pm 2a}{p}$, avec 2a : nombre de voies d'enroulement. $y_1 = \frac{y}{2} \pm 1$ et $y_2 = \frac{y}{2} \mp 1$.

Exemple : enroulement ondulé série tétrapolaire (donc : 2a = 2 et 2p = 4), 30 faisceaux.

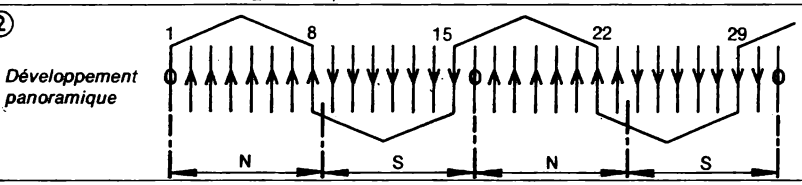
$y = \frac{F \pm 2a}{p} = \frac{30 \pm 2}{2}$

y	y_1	y_2
$\frac{32}{2} = 16$	9	7
$\frac{28}{2} = 14$	7	7

On adopte $y_1 = 7$, $y_2 = 7$

$L \approx \frac{2}{3} \times \frac{30}{4} = 5$, donc y_1 et $y_2 > 5$ (condition réalisée). (voir fig. 2)

②



3. BOBINAGE DES MACHINES A COURANT ALTERNATIF

Exemple : stator triphasé, 4 pôles, 24 encoches, 1 bobine par pôle et par phase.

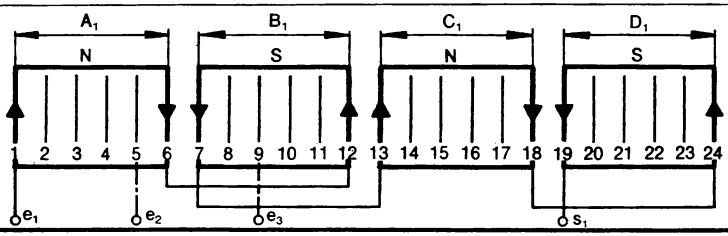
Pas polaire : $\frac{24}{4} = 6$ (bobines côte à côte).

A_1 : encoches 1 et 6, B_1 : 7 et 12, C_1 : 13 et 18, D_1 : 19 et 24.

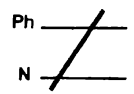
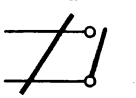
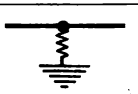
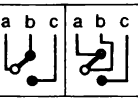
Phase II. Période entière $\frac{24}{2} = 12$, soit π. Décalage $\frac{2\pi}{3} = 4$ intervalles; e_1 = encoche 5.

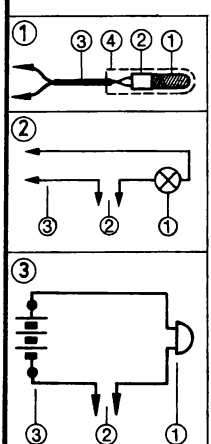
Phase III. Décalage $\frac{2\pi}{3}$, soit 4 intervalles; e_3 = encoche 9 (5 + 4).

③



1. PRINCIPALES PERTURBATIONS

Désignation	Causes	Croquis	Constatations sur l'appareil d'utilisation Remarques
Coupure	Ouverture d'un circuit		Ne fonctionne plus. Fonctionne partiellement.
Court-circuit	Contact entre deux conducteurs (directement ou par l'intermédiaire de masses métalliques). — de polarités différentes. — de même polarité.		Ne fonctionne pas { ouverture du circuit provoquée par l'appareil de protection.
			— Fonctionne en permanence. — Fonctionne partiellement.
Contact intermittent	Contact défectueux.		— Fonctionne par intermittence. — Appareil sous-alimenté.
Mauvais isolement	Contact entre fil et masse, ou terre.		Présence de dangers corporels, ou par le matériel.
Erreur de branchement	Inversion des conducteurs.		— Ne fonctionne pas. — Fonctionne en permanence. — Fonctionne partiellement.



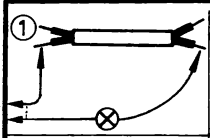
2. MOYENS DE DÉPANNAGE

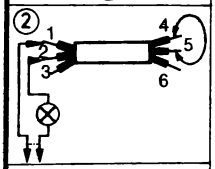
Les constatations faites permettent de découvrir les causes de dérangements; ces causes orientent le dépanneur vers l'organe défectueux.
Pour rechercher une coupure, un court-circuit, un mauvais contact, une erreur de branchement, on utilise :

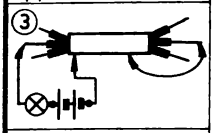
— **une lampe témoin** (fig. 1) :
(1) Lampe 220 V 15 W; *(2)* Douille DB 22; *(3)* Conducteur souple; *(4)* Capot de protection.
— **une lampe « test »** : tube à néon avec pointe à tester;

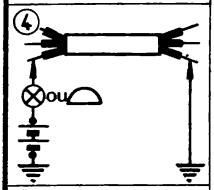
— **une lampe témoin avec source indépendante** (fig. 2). *(1)* Lampe; *(2)* Pointes à tester; *(3)* Vers réseau.

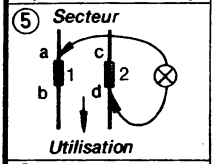
— **une sonnerie avec source indépendante** (fig. 3) *(1)* Sonnerie; *(2)* Pointes à tester; *(3)* Source (piles).
Pour vérifier l'intensité ou la tension, on utilise un ampèremètre ou un voltmètre. La vérification de l'isolement entre conducteurs, ou entre conducteurs et la terre (ou la masse), se fait à l'aide d'un ohmmètre.

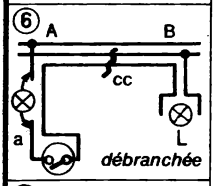


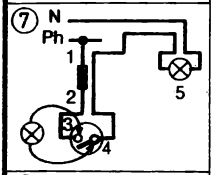


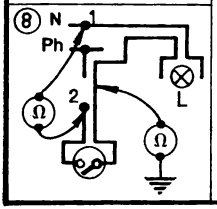












3. RECHERCHE DES PERTURBATIONS

3.1. Coupure.

Cas d'une canalisation courte (fig. 1) : emploi d'une lampe témoin avec source indépendante.

Cas d'une canalisation assez longue comportant au moins trois conducteurs (fig. 2) : méthode du bouclage évitant le déroulement du fil.

Exemple : recherche de la coupure d'un des fils 1-4, 2-5, 3-6 repérés.
— Bouclage 4-5 : la lampe n'éclaire pas entre 1-2. On en déduit que l'un des conducteurs (ou les deux) 1-4 ou 2-5 est coupé.
— Bouclage 4-6 : la lampe éclaire entre 1-3. On en déduit que les fils 1-4, 3-6 ne sont pas coupés, donc que le fil 2-5 est coupé.
— Bouclage 5-6 (pour vérification) : la lampe n'éclaire pas entre 2-3. Le fil 2-5 est donc bien coupé.

Cas d'une canalisation possédant une protection métallique sur toute sa longueur : emploi de la masse métallique comme conducteur de retour (fig. 3).

Emploi de la terre (charpente métallique, par exemple) comme conducteur de retour (fig. 4).

Vérification des coupe-circuit (fig. 5).
On place une lampe témoin entre a-d pour la vérification du coupe-circuit 2 et entre c-d pour 1.

3.2. Court-circuit.

On supprime l'appareil d'utilisation, puis on remplace un coupe-circuit par la lampe témoin.
La lampe éclaire tant que le court-circuit existe.
On procède par éliminations successives en débranchant les conducteurs aux boîtes de dérivation ou à l'appareillage.
Exemple (fig. 6) : en fermant l'interrupteur, la lampe témoin *(a)* éclaire, en l'ouvrant elle s'éteint. Le court-circuit est localisé dans la partie AB. De proche en proche on arrive à la détection du défaut (c-c).

3.3. Contact intermittent.

On shunte l'organe mis en cause à l'aide d'une lampe-témoin (ou fil volant), l'installation étant sous tension. Cas d'un interrupteur défectueux (fig. 7).
Pour vérifier la continuité du circuit à l'aide d'une lampe « test », on touche successivement les points 1-2-3-4 et 5.

3.4. Mauvais isolement.

Dans les deux cas suivants l'installation est débranchée du secteur (par le coupe-circuit, par exemple). On s'en assure en employant une lampe témoin.

Mesure de l'isolement entre deux conducteurs (fig. 8). On retire l'appareil d'utilisation, on ferme l'appareil de commande puis on place un ohmmètre à magnéto entre 1 et 2. On procède par éliminations successives du défaut.

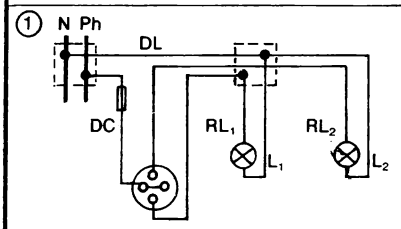
Mesure de l'isolement entre chaque conducteur et la terre (ou la masse) (fig. 8). On place l'ohmmètre entre 2 et la terre, puis entre 1 et la terre (si le neutre de l'installation est débranché).
Si l'on désire mesurer l'isolement de toute l'installation, on ne débranche pas l'appareil d'utilisation.

4. MÉTHODE GÉNÉRALE DE DÉPANNAGE

La constatation générale (éventuellement le schéma de l'installation) et le raisonnement (causes possibles) permettent de choisir un ordre de recherche (suite chronologique). Ce dernier est influencé par la fréquence des pannes, par l'accessibilité du matériel et par le résultat des vérifications.

Les recherches successives permettent de détecter progressivement le ou les organes mis en cause. Lorsque l'élément ou l'organe défectueux est localisé, on procède à sa vérification, à sa réparation éventuelle et à l'essai.

5. EXEMPLES DE DÉPANNAGES D'INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES



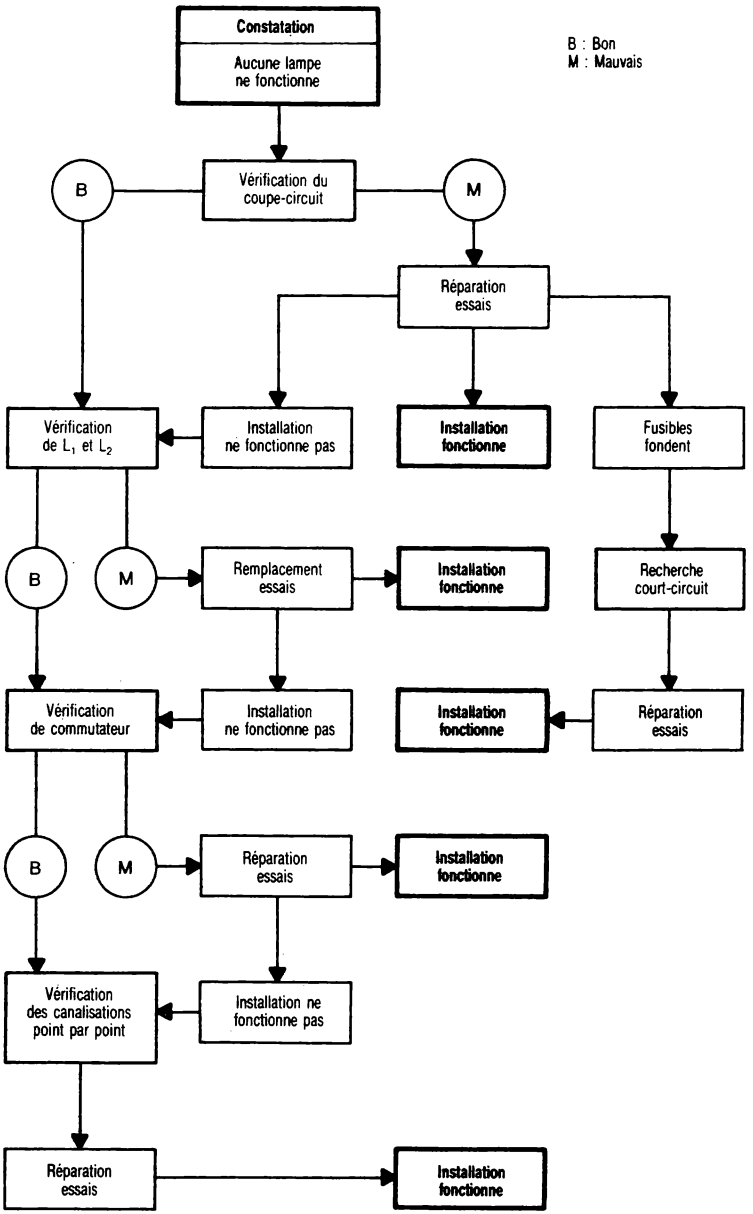
5.1. **Commande séparée de deux lampes à partir d'un seul point** (fig. 1).

DC : direct commutateur.
DL : direct lampes
RL_1 : retour lampe L_1.
RL_2 : retour lampe L_2.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES DIFFÉRENTES CAUSES POSSIBLES

Constatations les plus courantes	Causes Déductions	Remarques	Vérifications Recherches	Moyens de contrôle
1. Aucune lampe ne fonctionne.	Coupure : — au coupe-circuit ; — sur direct commutateur : — sur parties communes du direct lampes.	Peut être provoquée par un court-circuit. Cas des installations « simple allumage ».	Suivant l'ordre du tableau synoptique, planche E. 145.	Lampe témoin. Lampe « test ».
2. Seule, une lampe ne fonctionne pas.	Coupure localisée : — sur le retour lampe ; — au commutateur ; — à la douille.		— dº —	— dº —
3. Les deux lampes fonctionnent ensemble.	Contact fortuit : — au commutateur ; — entre retours de lampes.	Peu fréquent.	— dº —	— dº —
4. Une lampe fonctionne sans arrêt.	— Commutateur bloqué ; — contact forfuit entre retour lampe et direct commutateur.		— dº —	— dº —
5. Les fusibles fondent.	Court-circuit : localisé entre direct lampes et retour lampes (le plus souvent aux douilles).	Peut être provoqué par un défaut d'isolement.	Voir recherche des perturbations.	Lampe témoin ohmmètre

TABLEAU SYNOPTIQUE DE RECHERCHE D'UNE PANNE (CAS N° 1)



5.2. **Commande d'une gâche électrique à partir de deux points (fig. 1).**

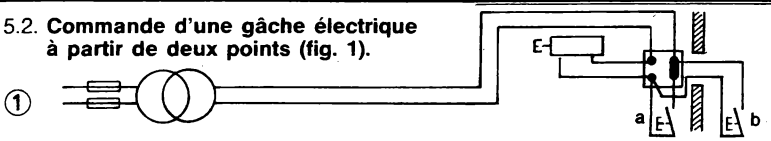
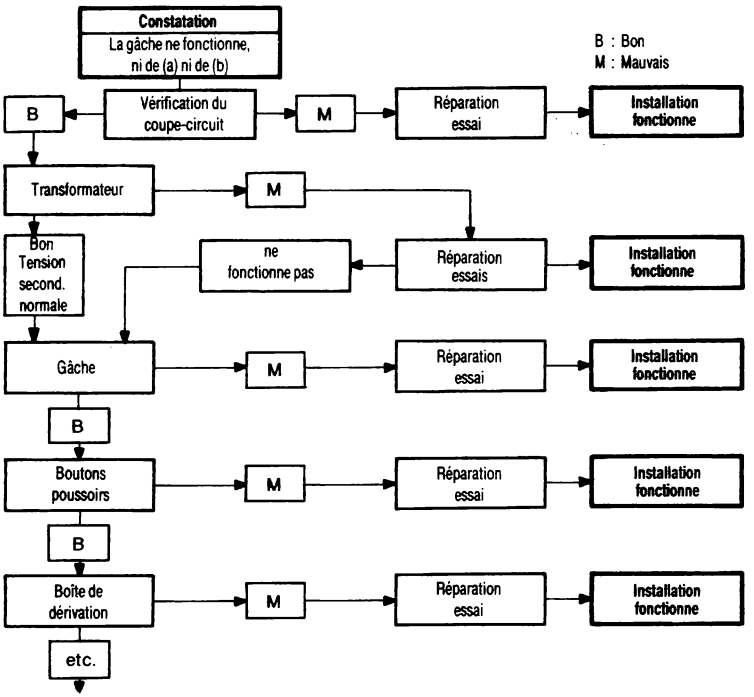


TABLEAU RÉCAPITULATIF DES DIFFÉRENTES CAUSES POSSIBLES

Constatations les plus courantes	Causes Déductions	Remarques	Vérifications Recherches
1. Les boutons (a) et (b) n'actionnent pas la gâche.	Coupure du circuit (circuit primaire du transformateur ou circuit secondaire).	La coupure a pu se produire au coupe-circuit à la suite d'un court-circuit ou d'un défaut d'isolement.	Coupe-circuit. Transformateur. Gâche-Boutons (a) + (b). Boîte de dérivation. Conducteurs.
2. (b) actionne la gâche, mais (a) ne l'actionne pas.	Coupure localisée sur le circuit (a) à partir de la boîte de dérivation.	La recherche est limitée à ce circuit.	Bouton poussoir (a). Boîte de dérivation. Conducteurs entre la B.D. et (a).
3. La gâche reste constamment ouverte.	Contact forfuit sur circuit boutons ou gâche défectueuse.	Le défaut peut être provoqué par un mauvais isolement.	Gâche. Boutons poussoirs. Boîte de dérivation. Cond. circuit boutons.

TABLEAU SYNOPTIQUE DE RECHERCHE D'UNE PANNE (CAS N° 1)



5.3. **Installation d'un radiateur à commande simultanée** (ou séparée) de deux circuits électriques (fig. 1).

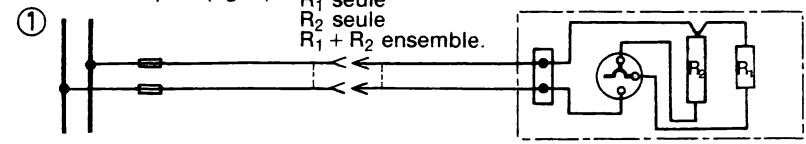
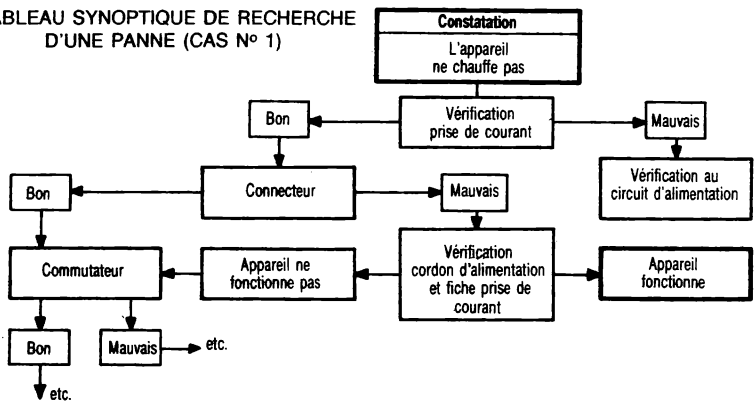


TABLEAU RÉCAPITULATIF DES DIFFÉRENTES CAUSES POSSIBLES

Constatations les plus courantes	Causes Déductions	Remarques	Vérifications Recherches
1. L'appareil ne chauffe pas	Coupure : — sur une partie quelconque du circuit ; localisée sur les parties de circuit communes.	La coupure peut provenir d'un court-circuit (fusibles fondus).	Essais de continuité. Recherche éventuelle du court-circuit en procédant par éliminations successives.
2. Fonctionnement partiel.	Coupure (ou mauvais contact) localisée sur le circuit défectueux.	La recherche est limitée à ce circuit.	— dº —
3. Fonctionnement intermittent.	Mauvais contact : — sur une partie quelconque du circuit — sur les parties communes des circuits.	Peut provoquer un échauffement anormal.	Vérifier les divers points de connexion.
4. Échauffement anormal de certains organes.	Mauvais contact : connexion desserrée, pièce détériorée mauvais réglage mécanique.		Vérifier l'organe où se produit l'échauffement anormal.
5. Pertes de courant.	Mauvais isolement. Mise à la masse d'une partie du circuit.		Faire les épreuves d'isolement. Procéder par éliminations successives.

TABLEAU SYNOPTIQUE DE RECHERCHE D'UNE PANNE (CAS Nº 1)



XI - ORGANISATIONS DES ENTREPRISES D'INSTALLATIONS

1. CLASSIFICATION GÉNÉRALE DES ENTREPRISES D'APRÈS LEUR IMPORTANCE

Grande entreprise (plusieurs milliers d'ouvriers), **moyennes entreprises** (de 100 à 500 ouvriers), **petites entreprises** (environ 20 ouvriers), **artisanales** (5 ouvriers au maximum).

2. CONSTITUTION GÉNÉRALE DES ENTREPRISES

Service commercial. Recherche les affaires à traiter et assure la liaison entre l'entreprise et les clients.

Service d'étude. Procède à l'étude technique des installations.

Service d'exécution des travaux. Préparation du matériel (magasinier) et exécution (ouvriers monteurs).

Service comptabilité. Établissement des factures, contrôle de la marche financière. L'organisation des entreprises diffère selon leur importance, la nature et le volume des travaux qui leur sont confiés.

3. VALEUR COMMERCIALE DES INSTALLATIONS

Travaux en régie ou à l'attachement. Les prix tiennent compte du temps passé et du matériel fourni (cas des travaux nécessitant beaucoup de main-d'œuvre et peu ou pas de matériel).

Emploi d'une feuille d'attachement pour consigner les renseignements nécessaires à l'établissement de la facture.

Elle comporte : la référence du client (nom, adresse, numéro de commande), le détail des travaux exécutés, du temps passé, la liste du matériel fourni (quantité, spécification), le détail des transports exécutés.

Travaux effectués aux prix de série. Emploi de barèmes de prix (fourniture et main-d'œuvre) établis à l'avance : *série de prix*.

L'adaptation des prix, variant en fonction des conditions économiques, se fait à l'aide de coefficients de rajustement publiés périodiquement.

Le relevé précis et détaillé des installations, ou *métré*, est établi par un métreur.
La diminution consentie par l'entrepreneur sur le prix de règlement s'appelle *rabais*.
Le *mémoire* est la facture sur laquelle figurent la nomenclature du matériel et l'estimation au prix de série.

Travaux en forfait ou au devis. Exécution des travaux pour une somme nette et forfaitaire (estimation des travaux).

Le prix global est déterminé :
— soit en tenant compte du montant des fournitures, de la main-d'œuvre, des frais divers et du bénéfice ;
— soit en utilisant les prix de série.

Devis descriptif : description détaillée des travaux.

Devis estimatif : indication et mode de détermination de la somme nette et forfaitaire.

Cahier des charges : précise les obligations respectives du client et de l'entrepreneur.

Travaux par adjudication : mise en concurrence de plusieurs entreprises qui remettent à l'architecte leur offre ou soumission sous pli cacheté. La commande est passée à l'entreprise qui a offert les meilleures conditions.

4. ORGANISATION TECHNIQUE DU TRAVAIL

Emploi de graphiques pour prévision, exécution et contrôle du travail.

Graphique d'ensemble des chantiers : chantiers en cours, à entreprendre, importance relative, durée prévue et réelle, dates de commencement et de fin de chantier.

Graphique d'avancement du travail : observation des délais prévus.

Graphique d'utilisation des monteurs : répartition du travail entre monteurs, contrôle de l'activité du personnel.

Graphique de surveillance des ventes et des frais généraux : contrôle du mouvement des marchandises, contrôle des dépenses.

Nota. Le décret du 3 mai 1961 stipule l'obligation d'employer comme unité de force ou de poids le newton (N) et non plus le kilogramme-force (kgf) ou le kilogramme-poids (kgp). La relation 1 kgf = 1 kgp = 9,81 N permet d'opérer la conversion.
Ainsi l'unité de pression kgf/mm^2 est remplacé par N/m^2.
On a 1 kgf/mm^2 = 9,81 $\times$ 10^6 N/m^2 $\approx$ 10^7 N/m^2.

Dans le présent ouvrage, les références aux normes françaises (N. F.) sont données avec l'autorisation de l'Association Française de Normalisation (23, Tour Europe, 92 080 Paris La Défense). Nous rappelons que seules font foi les normes originales diffusées par l'A. F. N. O. R. dans les éditions les plus récentes.

DOCUMENTATION

GÉNÉRALE

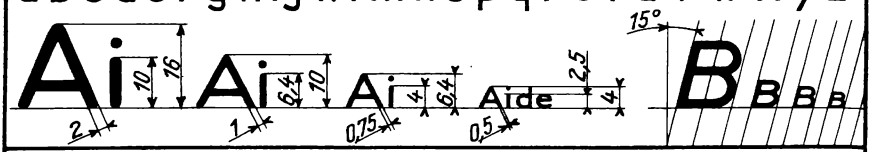
Doc.		Doc.	
1	Lettres et chiffres.	16	Sinus. Cosinus (suite).
2	Nombres normaux.	17	Tangente. Cotangente.
3	Principales unités.	18	Tangente. Cotg. (suite).
4	Équivalences.	19	Triangle rectangle.
5	Nombres et fractions.	20	Triangle quelconque.
6	Nombres premiers.	21	Arc. Corde. Flèche.
7	Éléments d'algèbre.	22	Arc. Corde. Flèche (suite).
8	Logarithmes.	23	Circonférence.
9	Logarithmes : table.	24	Cercle.
10	Logarithmes : table (suite).	25	Surfaces planes.
11	Carrés.	26	Solides (surf. dévelop.).
12	Carrés (suite).	27	Solides (surf. non dév.).
13	Racines carrées.	28	Centre de gravité.
14	Racines carrées (suite).	29	Masse des barres.
15	Sinus. Cosinus.	30	Caractéristiques.

Doc 1 — LETTRES _ CHIFFRES — β

① *Alphabet latin _* *(extrait de NF.E.04.105)*

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z



② *Alphabet grec _*

Α Β Γ Δ Ε Ζ Η Θ Ι Κ Λ Μ Ν Ξ Ο Π Ρ Σ Τ Υ Φ Χ Ψ Ω

α β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ ς τ υ φ χ ψ ω

alpha, bêta, gamma, delta, epsilonn, dzéta, êta, thêta, iota, kappa, lambda, mu, nu, ksi, omicronn, pi, rô, sigma, tau, upsilonn, phi, khi, psi, oméga

③ *Chiffres arabes _* *(extrait de NF.X.02.005).*

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

RÈGLES D'ÉCRITURE	EXEMPLES
1 _ *Séparer les nombres en tranches de trois chiffres par un espace inférieur à la largeur d'un chiffre.*	
NOMBRES ENTIERS : à partir de la droite	3 850 363
NOMBRES DÉCIMAUX : à partir de la virgule	0,000 485
Exception pour les dates	2 octobre 1956
2 _ *Écrire les symboles d'unité sans point d'abréviation, ni jamais la marque du pluriel*	131,5 cm
Exceptions — *Nombres complexes*	2,75 h ou 2 h 45 min
Exceptions — *Écritures commerciales*	F 170

④ *Chiffres romains _*

I	V	X	L	C	D	M
1	*5*	*10*	*50*	*100*	*500*	*1000*

RÈGLES D'ÉCRITURE	EXEMPLES
1 _ *Plusieurs chiffres égaux écrits à la suite s'ajoutent*	XXX = 30
2 _ *Tout chiffre écrit à la droite d'un chiffre plus fort s'ajoute à celui-ci*	DLV = 555
3 _ *Tout chiffre écrit à la gauche d'un chiffre plus fort se retranche de celui-ci*	XC = 90
4 _ *Tout nombre surmonté d'un trait exprime des mille, de deux traits des millions*	$\overline{X}$ = 10 000

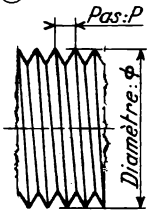
N — NOMBRES NORMAUX — Doc 2

① SÉRIES RENARD

1 à 10				10 à 100					100 à 1000						
ORDRE DE PRÉFÉRENCE				ORDRE DE PRÉFÉRENCE					ORDRE DE PRÉFÉRENCE						
1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	Valeurs exactes R 20
Valeurs recommandées Ra 5	Ra 10	Ra 20	À éviter	Valeurs recommandées Ra 5	Ra 10	Ra 20	Valeurs à éviter		Valeurs recommandées Ra 5	Ra 10	Ra 20	Valeurs à éviter			
1	1	1		10	10	10			100	100	100	105			100
		1,1				11					110		115		112,20
	1,2	1,2			12	12	13			125	125	120			125,89
		1,4	1,5			14	15				140	130	135		141,25
												150	145		
1,6	1,6	1,6		16	16	16	17		160	160	160	170	155		158,49
		1,8				18	19				180		165		177,83
	2	2			20	20				200	200	190	175		199,53
		2,2				22	21	23			220	210	185		223,87
							24					240	195		
2,5	2,5	2,5		25	25	25	26		250	250	250	260	230		251,19
		2,8				28					280		270		281,84
	3	3			32	32	30			315	315	300	290		316,23
		3,5				36	34	35			355	340	310		354,81
							38					380	320	330	
													350		
													360	370	
4	4	4		40	40	40	42		400	400	400	420	390		398,11
		4,5				45		44			450		410		446,68
	5	5			50	50	48	46		500	500	480	430	440	501,19
		5,5				56	52	55			560		460	470	562,34
							60	58					490		
6	6	6		63	63	63	68	62	630	630	630				630,96
		7				70		65			710				707,95
	8	8			80	80	75	72		800	800				794,33
		9				90	85	78			900				891,25
								82							
10	10	10		100	100	100	95	88	1000	1000	1000				1000
								92							
								98							

Dans la cotation des dessins on adopte de préférence les termes des séries Ra 5, Ra 10, Ra 20 indiqués dans le tableau ci-dessus.
Sauf pour les filetages SI. dont les valeurs sont données ci-dessous. (Diamètre-Pas).

② SYSTÈME INTERNATIONAL DE FILETAGE



M					
3 — 0,5	6 — 1	12 — 1,75	24 — 3	48 — 5	
(3,5) — 0,6	(7) — 1	14 — 2	27 — 3	52 — 5	
4 — 0,7	8 — 1,25	16 — 2	30 — 3,5	56 — 5,5	
(4,5) — 0,75	(9) — 1,25	18 — 2,5	33 — 3,5	60 — 5,5	
5 — 0,8	10 — 1,5	20 — 2,5	36 — 4	64 — 6	
6 — 1	(11) — 1,5	22 — 2,5	39 — 4	68 — 6	
	12 — 1,75	24 — 3	42 — 4,5	72 — 6	
			45 — 4,5	76 — 6	
			48 — 5	80 — 6	
( ) Valeurs à éviter	ϕ / P				
Progr.on arith.que	r = 0,5	r = 1	r = 2	r = 3	r = 4

③ MASSES NORMALES DE PESÉE (1 à 1000)

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000

Doc 3 — PRINCIPALES UNITÉS

SYSTÈME INTERNATIONAL

	GRANDEUR — Nom	Symbole	UNITÉ — Nom	Symbole
GÉOMÉTRIE	Longueur	L	Mètre	m
	Superficie	S	Mètre carré	m^2
	Volume	V	Mètre cube	m^3
	Angle plan	α	Radian	rad
	Angle solide	Ω	Stéradian	sr
MASSE	Masse	M	Kilogramme	kg
	Masse volumique	ϱ	Kilogramme par mètre cube	kg/m^3
MÉCANIQUE	Temps	t	Seconde	s
	Fréquence	f	Hertz	Hz
	Vitesse	v	Mètre par seconde	m/s
	Accélération	γ	Mètre par seconde, par seconde	m/s^2
	Force	F	Newton	N
	Contrainte ou Pression	p	Newton par mètre carré ou pascal (*Pa*)	N/m^2
	Energie ou Travail	W	Joule	J
	Puissance	P	Watt	W
	Moment	$\mathcal{M}$	Newton-mètre	N.m
	Couple	c	Newton-mètre	N. m
CHALEUR	Température	t	Degré Celsius ou Degré Kelvin	°C, °K
	Chaleur massique	C	Joule par kilogramme et par degré	J/kg/°
ÉLECTRICITÉ	Intensité de courant	I	Ampère	A
	Quantité d'électricité	Q	Coulomb	C
	Force électro-motrice, diff. de potentiel	E ou U	Volt	V
	Résistance électrique	R	Ohm	Ω
	Induction magnétique	B	Tesla	T
	Flux magnétique	Φ	Weber	Wb
	Inductance électrique	L	Henry	H
	Capacité électrique	C	Farad	F
OPTIQUE	Intensité lumineuse	I	Candela	cd
	Flux lumineux	Φ	Lumen	lm
	Eclairement	E	Lux	lx
	Luminance	L	Candela par mètre carré	cd/m^2
	Vergence optique	Φ	Dioptrie	δ

TABLEAU DE CONVERSION DES UNITÉS DE MÉCANIQUE

LONGUEUR	MASSE	FORCE	TEMPS	VITESSE	TRAVAIL	PUISSANCE	PRESSION	MOMENT
UNITÉS DU SYSTÈME INTERNATIONAL (S.I.)								
m	*kg*	*N*	*s*	$\frac{m}{s}$	$J = N.m$	$W = \frac{N.m}{s}$	$Pa = \frac{N}{m^2}$	*N.m*

AUTRES UNITÉS IMPORTANTES ET LEUR VALEUR EN UNITÉ S.I.

μ	0,000 001	*g*	0,001	*da N*	10	*mn*	60	$\frac{m}{mn}$	$\frac{1}{60}$	*W.h*	3 600	*millibar*	100
mm	0,001	*t*	1 000			*h*	3 600	$\frac{km}{h}$	$\frac{1000}{3600}$	*cal*	4,1855	$\frac{N}{cm^2}$	10 000
km	1 000	*carat*	0,000 2							*Cal*	4 185,5	*bar*	100 000
mille	1 852									*th*	4 185 500	$\frac{N}{mm^2}$	1 000 000

CONVERSION ENTRE SYSTÈMES

Systèmes périmés	FORCE	ÉNERGIE	PUISSSANCE	PRESSION
MKSA	1 N = 1 kgf : 9,81	1 J = 1 kgm : 9,81	1 W = 1 kgm/s : 9,81	1 Pa = 1 kgf/m² : 9,81
MTS	1 sthène = 10^3 N	1 kilojoule = 10^3 J	1 kilowatt = 10^3 W	1 pièze = 10^3 Pa
CGS	1 dyne = 10^{-5} N	1 erg = 10^{-7} J	1 erg/seconde = 10^{-7} W	1 barye = 10^{-1} Pa

ÉQUIVALENCES

Doc 4

① SYMBOLES

extrait de F.D.X 02.005

Symbole	SIGNIFICATION	Symbole	SIGNIFICATION	Symbole	SIGNIFICATION
+	plus	≠	différent de	l, L	longueur
−	moins	≈	égal environ à	r, R	rayon
±	plus ou moins	∼	équivalent à	d, D	diamètre
× ou •	multiplié par	=	égal	$\overset{\frown}{AOB}$	angle
: ou /	divisé par	<	inférieur à	$\overset{\frown}{AOB}$	arc
%	pour cent	⩽	ou au plus égal à	sin	sinus
‰	pour mille	>	supérieur à	cos	cosinus
a^2	puiss.ce exposant 2	⩾	ou au moins égal à	tg	tangente
a^n	puiss.ce exposant n	↗	croît	cotg	cotangente
a_n	indice n	↘	décroît	π	3,1416
$\sqrt{a}$	racine carrée	∥	parallèle	h	hauteur
$\sqrt[n]{a}$	racine n ième	⊥	perpendiculaire	etc..	et la suite

Nota – Le signe "multiplié par" entre deux nombres (×) ; entre deux lettres (•)

② TABLEAU DES PRÉFIXES

FACTEUR par lequel est multiplié l'unité	SYMBOLE	PRÉFIXE	EXEMPLES D'UTILISATION
10^3 ou 1 000	k	kilo	kg ____ kilogramme
10^2 ou 100	h	hecto	hm ____ hectomètre
10^1 ou 10	da	déca	dag ____ décagramme
10^0 ou 1			
10^{-1} ou 0,1	d	déci	dm ____ décimètre
10^{-2} ou 0,01	c	centi	cm ____ centimètre
10^{-3} ou 0,001	m	milli	mm ____ millimètre
10^{-4} ou 0,000 1	dm	décimilli	dmm ____ décimillimètre
10^{-5} ou 0,000 01	cm	centimilli	cmm ____ centimillimètre
10^{-6} ou 0,000 001	µm	micro	µm ____ micromètre

Nota – Micromètre (µm) s'écrit (µ) micron –

③ CONVERSION DES FRACTIONS DE POUCE EN mm

fr. de pouce	mm	fr. de pouce	mm	fr. de pouce	mm	fr. de pouce	mm
1/32	0,79	9/32	7,14	17/32	13,49	25/32	19,84
1/16	1,59	5/16	7,94	9/16	14,29	13/16	20,64
3/32	2,38	11/32	8,73	19/32	15,08	27/32	21,43
1/8	3,17	3/8	9,52	5/8	15,87	7/8	22,22
5/32	3,97	13/32	10,32	21/32	16,67	29/32	23,02
3/16	4,76	7/16	11,11	11/16	17,46	15/16	23,81
7/32	5,56	15/32	11,91	23/32	18,26	31/32	24,60
1/4	6,35	1/2	12,70	3/4	19,05	1 pouce =	25,4 mm

Doc 5 — NOMBRES ET FRACTIONS — LES QUATRE OPÉRATIONS

TERMINOLOGIE DES NOMBRES

PARTIE ENTIÈRE | **PARTIE DÉCIMALE**

classe des milliards	classe des millions	classe des mille	classe des unités	,		
4	123	839	544	,	870	841

unités de milliard — centaines de million — dizaines de million — unités de million — centaines de mille — dizaines de mille — unités de mille — centaines — dizaines — unités — dixièmes — centièmes — millièmes — dix-millièmes — cent-millièmes — millionièmes

① ADDITION +	② SOUSTRACTION −	③ MULTIPLICATION ×	④ DIVISION :
Ex. 128,75 + 3,42 = 132,17	*Ex.* 128,75 − 3,42 = 125,33	*Ex.* 1,5 × 0,03 = 0,045 ; 15 × 3 = 45	*Ex.* 2,4 : 0,12 ; 240 | 12 ; 000 | 20
Aligner les virgules verticalement.	*Aligner les virgules verticalement.*	*Multiplier les nombres. Placer la virgule.*	*Équilibrer les décimales. Diviser.*

⑤ CARACTÈRES DE DIVISIBILITÉ

		EXEMPLES
Par 2	*Terminé à droite par 0 ou un chiffre pair .*	20 ; 238
Par 5	*Terminé à droite par 0 ou 5 .*	320 ; 45
Par 3	*Somme des chiffres divisible par 3 .*	39 ; 1434
Par 9	*Somme des chiffres divisible par 9 .*	36 ; 8073

FRACTIONS

⑥ SIMPLIFICATION

$\frac{45}{60} = \frac{15}{20} = \dots\dots\dots\dots = \frac{3}{4}$

Diviser les deux termes par le même nombre.

⑦ RÉDUCTION AU MÊME DÉNOMINATEUR

$\frac{5}{8} = \frac{5\times3}{8\times3} = \frac{15}{24}$ *et* $\frac{7}{6} = \frac{7\times4}{6\times4} = \frac{28}{24}$

Prendre pour dénominateur commun un nombre divisible par tous les dénominateurs.

⑧ ADDITION	⑨ SOUSTRACTION	⑩ MULTIPLICATION	⑪ DIVISION
Ex. $\frac{9}{16} + \frac{1}{4} = \frac{9}{16} + \frac{4}{16} = \frac{13}{16}$	*Ex.* $\frac{7}{12} - \frac{1}{3} = \frac{7}{12} - \frac{4}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}$	*Ex.* $\frac{3}{8} \times \frac{2}{15} = \frac{3\times2}{8\times15} = \frac{6}{120} = \frac{1}{20}$	*Ex.* $\frac{3}{5} : \frac{4}{15} = \frac{3\times15}{5\times4} = \frac{45}{20} = \frac{9}{4}$
Réduire au même dénominateur. Additionner les numérateurs.	*Réduire au même dénominateur . Soustraire les numérateurs.*	*Multiplier entre eux les numérateurs, puis les dénominateurs. Simplifier si possible.*	*Multiplier la fraction dividende par l'inverse de la fraction diviseur.*

PGCD PPCM

NOMBRES PREMIERS
APPLICATIONS

Doc 6

① LISTE DES NOMBRES PREMIERS

1	137	317	523	743	977	1213	1453	1693	1951	2213	2447	2713
2	139	331	541	751	983	1217	1459	1697	1973	2221	2459	2719
3	149	337	547	757	991	1223	1471	1699	1979	2237	2467	2729
5	151	347	557	761	997	1229	1481	1709	1987	2239	2473	2731
7	157	349	563	769	1009	1231	1483	1721	1993	2243	2477	2741
11	163	353	569	773	1013	1237	1487	1723	1997	2251	2503	2749
13	167	359	571	787	1019	1249	1489	1733	1999	2267	2521	2753
17	173	367	577	797	1021	1259	1493	1741	2003	2269	2531	2767
19	179	373	587	809	1031	1277	1499	1747	2011	2273	2539	2777
23	181	379	593	811	1033	1279	1511	1753	2017	2281	2543	2789
29	191	383	599	821	1039	1283	1523	1759	2027	2287	2549	2791
31	193	389	601	823	1049	1289	1531	1777	2029	2293	2551	2797
37	197	397	607	827	1051	1291	1543	1783	2039	2297	2557	2801
41	199	401	613	829	1061	1297	1549	1787	2053	2309	2579	2803
43	211	409	617	839	1063	1301	1553	1789	2063	2311	2591	2819
47	223	419	619	853	1069	1303	1559	1801	2069	2333	2593	2833
53	227	421	631	857	1087	1307	1567	1811	2081	2339	2609	2837
59	229	431	641	859	1091	1319	1571	1823	2083	2341	2617	2843
61	233	433	643	863	1093	1321	1579	1831	2087	2347	2621	2851
67	239	439	647	877	1097	1327	1583	1847	2089	2351	2633	2857
71	241	443	653	881	1103	1361	1597	1861	2099	2357	2647	2861
73	251	449	659	883	1109	1367	1601	1867	2111	2371	2657	2879
79	257	457	661	887	1117	1373	1607	1871	2113	2377	2659	2887
83	263	461	673	907	1123	1381	1609	1873	2129	2381	2663	2897
89	269	463	677	911	1129	1399	1613	1877	2131	2383	2671	2903
97	271	467	683	919	1151	1409	1619	1879	2137	2389	2677	2909
101	277	479	691	929	1153	1423	1621	1889	2141	2393	2683	2917
103	281	487	701	937	1163	1427	1627	1901	2143	2399	2687	2927
107	283	491	709	941	1171	1429	1637	1907	2153	2411	2689	2939
109	293	499	719	947	1181	1433	1657	1913	2161	2417	2693	2953
113	307	503	727	953	1187	1439	1663	1931	2179	2423	2699	2957
127	311	509	733	967	1193	1447	1667	1933	2203	2437	2707	2963
131	313	521	739	971	1201	1451	1669	1949	2207	2441	2711	2969

— Les nombres premiers ne sont divisibles que par eux-mêmes et par l'unité.
Exemple : le nombre 23 n'est divisible que par 23 et par 1.

② FACTEURS PREMIERS ET DIVISEURS D'UN NOMBRE

198	2
99	3
33	3
11	11
1	

Essayer les divisions par tous les nombres premiers en commençant par les plus petits.

$198 = 2 \times 3^2 \times 11$

198	2	1
99	3	2
33	3	3_6
11	11	9_18
1		11_22_33_66_99_198

Écrire le diviseur 1, puis multiplier chaque facteur par tous les diviseurs déjà écrits.

③ PGCD
PLUS GRAND COMMUN DIVISEUR

PGCD = *Produit des facteurs communs affectés de leur plus petit exposant.*

Soient les nombres 1488 *et* 360

$$\begin{cases} 1488 = 2^4 \times 3 \times 31 \\ 360 = 2^3 \times 3^2 \times 5 \end{cases}$$

$PGCD = 2^3 \times 3 = 24$

④ PPCM
PLUS PETIT COMMUN MULTIPLE

PPCM = *Produit des facteurs communs et non communs affectés de leur plus fort exposant.*

Soient les nombres 600 *et* 175

$$\begin{cases} 600 = 2^3 \times 3 \times 5^2 \\ 175 = 5^2 \times 7 \end{cases}$$

$PPCM = 2^3 \times 3 \times 5^2 \times 7 = 4\,200$

Doc 7 — ÉLÉMENTS D'ALGÈBRE

OPÉRATIONS — PROGRESSIONS — ÉQUATIONS

① ADDITION +

Exemple :

$(3a^2+4ab)+(6ab-a^2)$

$=3a^2+4ab+6ab-a^2$

$=2a^2+10ab$

Supprimer les parenthèses après le signe +. Réduire les termes semblables.

② SOUSTRACTION —

Exemple :

$(7a^2-2ab)-(3a^2-b^2)$

$=7a^2-2ab-3a^2+b^2$

$=4a^2-2ab+b^2$

Supprimer les parenthèses après le signe —, à condition de changer de signe les termes entre parenthèses.

③ MULTIPLICATION ×

Exemple :

$2a^3b^2 \times 6a^2b^2$

$=2.6.a^3.a^2.b^2.b^2$

$=12\,a^5\,b^4$

Multiplier les coefficients, puis additionner les exposants des mêmes lettres.

④ DIVISION :

Exemple :

$12a^3b^2 : 6a^2b^3$

$=\frac{12}{6} \cdot \frac{a^3}{a^2} \cdot \frac{b^2}{b^3}$

$=2\,a/b$

Diviser les coefficients, puis soustraire les exposants des mêmes lettres.

⑤ IDENTITÉS

$(a+b)^2=a^2+2ab+b^2$

$(a-b)^2=a^2-2ab+b^2$

$a^2-b^2=(a+b)(a-b)$

$(a+b)^3=a^3+3a^2b+3ab^2+b^3$

$(a-b)^3=a^3-3a^2b+3ab^2-b^3$

⑥ PROPORTIONS

$\frac{a}{b}=\frac{c}{d}$ $\qquad ad=bc$

4ème proportionnelle : $\frac{a}{b}=\frac{c}{x}$ $\qquad x=\frac{bc}{a}$

moyenne proportionnelle : $\frac{a}{x}=\frac{x}{b}$ $\qquad x=\sqrt{ab}$

PROGRESSIONS

⑦ ARITHMÉTIQUE

$a,\ a+r,\ a+2r,\ a+3r,\ a+4r,$ *etc...*

a = *premier terme.* r = *raison.*

l = *dernier terme.* S = *somme des*

n = *nombre de termes.* *n premiers termes.*

Exemple : 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28, etc...

$l=a+(n-1)r$

Le 6ème terme :

$l=1+(6-1)3$

$=16$

$S=\left(\frac{a+l}{2}\right)n$

La somme des 6 premiers termes :

$S=\left(\frac{1+16}{2}\right)6$

$=51$

⑧ GÉOMÉTRIQUE

$a,\ aq,\ aq^2,\ aq^3,\ aq^4,\ aq^5,$ *etc...*

a = *premier terme.* q = *raison.*

l = *dernier terme.* S = *somme des*

n = *nombre de termes.* *n premiers termes.*

Exemple : 1, 3, 9, 27, 81, 243, 729, 2187, etc...

$l=aq^{n-1}$

Le 6ème terme :

$l=1\times 3^{6-1}$

$l=3^5=243$

$S=a\frac{q^n-1}{q-1}$

La somme des 6 premiers termes :

$S=1\times\frac{3^6-1}{3-1}=\frac{3^6-1}{2}$

$S=364$

ÉQUATIONS

⑨ 1er degré

1 inconnue pour $a \neq 0$: $ax+b=0$ $\qquad x=-\frac{b}{a}$

2 inconnues pour $ab'-ba' \neq 0$:

$$\begin{cases} ax+by=c \\ a'x+b'y=c' \end{cases}$$

$$\begin{cases} x=\frac{cb'-bc'}{ab'-ba'} \\ y=\frac{ac'-ca'}{ab'-ba'} \end{cases}$$

⑩ 2ème degré

$ax^2+bx+c=0$

1°) *Pour :* $b^2-4ac>0$ $\qquad$ *deux racines :* $x=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

2°) *Pour :* $b^2-4ac=0$ $\qquad$ *une racine :* $x=-b/2a$

3°) *Pour :* $b^2-4ac<0$ $\qquad$ *pas de racine.*

$x'+x''=-\frac{b}{a}$ $\qquad$ $x'x''=\frac{c}{a}$

log — LOGARITHMES DÉCIMAUX — Doc 8

DÉFINITION DU LOGARITHME n de N : L'ÉGALITÉ $N = 10^n$ ← ENTRAÎNE → L'ÉGALITÉ $n = \log N$

① LOGARITHMES DES PUISSANCES DE 10

Puissances de 10	0,001 ou 10^{-3}	0,01 ou 10^{-2}	0,1 ou 10^{-1}	1 ou 10^{0}	10 ou 10^{1}	100 ou 10^{2}
Logarithmes correspondants	−3	−2	−1	0	1	2

② RECHERCHE DU LOGARITHME D'UN NOMBRE N

LA CARACTÉRISTIQUE (partie entière)	LA MANTISSE (partie décimale)
EST ⊕ (si N>1) ou ⊖ (si N<1)	EST TOUJOURS ⊕
Ne se lit pas dans la table	*Se lit dans la table*

1º) Si N est plus grand que 1 :
compter le nombre de ses chiffres avant la virgule et retrancher 1.
(la caractéristique est positive ⊕)

log 9315 = 3,..... (4−1=3)
log 125212 = 5,..... (6−1=5)
log 3,47 = 0,..... (1−1=0)

2º) Si N est plus petit que 1 :
lire le rang occupé par le premier chiffre significatif après la virgule
(la caractéristique est négative ⊖)

log 0,078 = $\overline{2}$,..... (*2ème rang*)
log 0,00098 = $\overline{4}$,..... (*4ème rang*)

1º) Nombre de 3 chiffres (100 à 999):

log 515 = 2,71181

2º) Nombre de 2 chiffres ou nombre de 1 chiffre :

log 70 = 1,84510 *(lire à 700)*
log 5 = 0,69897 *(lire à 500)*

3º) Nombre de plus de 3 chiffres :

log 5314 = 3,72509 *(lire à 531)*
log 18967 = 4,27875 *(lire à 190)*

③ RECHERCHE DU NOMBRE DONT ON CONNAIT LE LOGARITHME

EXEMPLES	LOGARITHME DONNÉ	LECTURE MANTISSE *(dans la table)*	NOMBRE DE CHIFFRES:	N NOMBRE CHERCHÉ
Caractéristique positive	4,92221	836 *(lire à 92221)*	avant la virgule 5 *(caract.+1=4+1)*	83 600
Caractéristique négative	$\overline{2}$,75082	563 *(lire à 75082)*	rang du 1er chiffre après la virgule 2 *(caract.)*	0,0563

CORRESPONDANCE DES OPÉRATIONS

	SUR LES NOMBRES		SUR LES LOGARITHMES	
×	MULTIPLICATION	⟷	ADDITION	+
:	DIVISION	⟷	SOUSTRACTION	−
$()^p$	PUISSANCE	⟷	MULTIPLICATION	×
$\sqrt[n]{}$	RACINE	⟷	DIVISION	:

Doc 9

LOGARITHMES

MANTISSES DES NOMBRES DE 100 à 499

log

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.	000 00	004 32	008 60	012 84	017 03	021 19	025 31	029 38	033 42	037 43
11.	041 39	045 32	049 22	053 08	056 90	060 70	064 46	068 19	071 88	075 55
12.	079 18	082 79	086 36	089 91	093 42	096 91	100 37	103 80	107 21	110 59
13.	113 94	117 27	120 57	123 85	127 10	130 33	133 54	136 72	139 88	143 01
14.	146 13	149 22	152 29	155 34	158 36	161 37	164 35	167 32	170 26	173 19
15.	176 09	178 98	181 84	184 69	187 52	190 33	193 12	195 90	198 66	201 40
16.	204 12	206 83	209 52	212 19	214 84	217 48	220 11	222 72	225 31	227 89
17.	230 45	233 00	235 53	238 05	240 55	243 04	245 51	247 97	250 42	252 85
18.	255 27	257 68	260 07	262 45	264 82	267 17	269 51	271 84	274 16	276 46
19.	278 75	281 03	283 30	285 56	287 80	290 03	292 26	294 47	296 67	298 85
20.	301 03	303 20	305 35	307 50	309 63	311 75	313 87	315 97	318 06	320 15
21.	322 22	324 28	326 34	328 38	330 41	332 44	334 45	336 46	338 46	340 44
22.	342 42	344 39	346 35	348 30	350 25	352 18	354 11	356 03	357 93	359 84
23.	361 73	363 61	365 49	367 36	369 22	371 07	372 91	374 75	376 58	378 40
24.	380 21	382 02	383 82	385 61	387 39	389 17	390 94	392 70	394 45	396 20
25.	397 94	399 67	401 40	403 12	404 83	406 54	408 24	409 93	411 62	413 30
26.	414 97	416 64	418 30	419 96	421 60	423 25	424 88	426 51	428 13	429 75
27.	431 36	432 97	434 57	436 16	437 75	439 33	440 91	442 48	444 04	445 60
28.	447 16	448 71	450 25	451 79	453 32	454 84	456 37	457 88	459 39	460 90
29.	462 40	463 89	465 38	466 87	468 35	469 82	471 29	472 76	474 22	475 67
30.	477 12	478 57	480 01	481 44	482 87	484 30	485 72	487 14	488 55	489 96
31.	491 36	492 76	494 15	495 54	496 93	498 31	499 69	501 06	502 43	503 79
32.	505 15	506 51	507 86	509 20	510 55	511 88	513 22	514 55	515 87	517 20
33.	518 51	519 83	521 14	522 44	523 75	525 04	526 34	527 63	528 92	530 20
34.	531 48	532 75	534 03	535 29	536 56	537 82	539 08	540 33	541 58	542 83
35.	544 07	545 31	546 54	547 77	549 00	550 23	551 45	552 67	553 88	555 09
36.	556 30	557 51	558 71	559 91	561 10	562 29	563 48	564 67	565 85	567 03
37.	568 20	569 37	570 54	571 71	572 87	574 03	575 19	576 34	577 49	578 64
38.	579 78	580 92	582 06	583 20	584 33	585 46	586 59	587 71	588 83	589 95
39.	591 06	592 18	593 29	594 39	595 50	596 60	597 70	598 79	599 88	600 97
40.	602 06	603 14	604 23	605 31	606 38	607 46	608 53	609 59	610 66	611 72
41.	612 78	613 84	614 90	615 95	617 00	618 05	619 09	620 14	621 18	622 21
42.	623 25	624 28	625 31	626 34	627 37	628 39	629 41	630 43	631 44	632 46
43.	633 47	634 48	635 48	636 49	637 49	638 49	639 49	640 48	641 47	642 46
44.	643 45	644 44	645 42	646 40	647 38	648 36	649 33	650 31	651 28	652 25
45.	653 21	654 18	655 14	656 10	657 06	658 01	658 96	659 92	660 87	661 81
46.	662 76	663 70	664 64	665 58	666 52	667 45	668 39	669 32	670 25	671 17
47.	672 10	673 02	673 94	674 86	675 78	676 69	677 61	678 52	679 43	680 34
48.	681 24	682 15	683 05	683 95	684 85	685 74	686 64	687 53	688 42	689 31
49.	690 20	691 08	691 97	692 85	693 73	694 61	695 48	696 36	697 23	698 10

EXEMPLES D'UTILISATION

① MULTIPLICATION

$c = a.b \iff \log c = \log a + \log b$

$253 \times 312 = 78\,936$

$\log 253 = 2{,}403\,12$

$\log 312 = 2{,}494\,15$

$\log 78\,936 = 4{,}897\,27$

② PUISSANCE

$N = a^n \iff \log N = n.\log a$

$9^4 = 6\,561$

$\log 9 = 0{,}954\,24$

$\times 4$

$\log 6\,561 = 3{,}816\,96$

③ DIVISION

$c = a:b \iff \log c = \log a - \log b$

$480 : 6 = 80$

$\log 480 = 2{,}681\,24$

$-\log 6 = -0{,}778\,15$

$\log 80 = 1{,}903\,09$

④ RACINE

$R = \sqrt[n]{a} \iff \log R = \frac{\log a}{n}$

$\sqrt[3]{72} = 4{,}160\,2$

$\log 72 = 1{,}857\,33$

$: 3$

$\log 4{,}160\,2 = 0{,}619\,11$

log — LOGARITHMES

MANTISSES DES NOMBRES DE 500 à 999

Doc 10

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50.	698 97	699 84	700 70	701 57	702 43	703 29	704 15	705 01	705 86	706 72
51.	707 57	708 42	709 27	710 12	710 96	711 81	712 65	713 49	714 33	715 17
52.	716 00	716 84	717 67	718 50	719 33	720 16	720 99	721 81	722 63	723 46
53.	724 28	725 09	725 91	726 73	727 54	728 35	729 16	729 97	730 78	731 59
54.	732 39	733 20	734 00	734 80	735 60	736 40	737 19	737 99	738 78	739 57
55.	740 36	741 15	741 94	742 73	743 51	744 29	745 07	745 86	746 63	747 41
56.	748 19	748 96	749 74	750 51	751 28	752 05	752 82	753 58	754 35	755 11
57.	755 87	756 64	757 40	758 15	758 91	759 67	760 42	761 18	761 93	762 68
58.	763 43	764 18	764 92	765 67	766 41	767 16	767 90	768 64	769 38	770 12
59.	770 85	771 59	772 32	773 05	773 79	774 52	775 25	775 97	776 70	777 43
60.	778 15	778 87	779 60	780 32	781 04	781 76	782 47	783 19	783 90	784 62
61.	785 33	786 04	786 75	787 46	788 17	788 88	789 58	790 29	790 99	791 69
62.	792 39	793 09	793 79	794 49	795 18	795 88	796 57	797 27	797 96	798 65
63.	799 34	800 03	800 72	801 40	802 09	802 77	803 46	804 14	804 82	805 50
64.	806 18	806 86	807 54	808 21	808 89	809 56	810 23	810 90	811 58	812 24
65.	812 91	813 58	814 25	814 91	815 58	816 24	816 90	817 57	818 23	818 89
66.	819 54	820 20	820 86	821 51	822 17	822 82	823 47	824 13	824 78	825 43
67.	826 07	826 72	827 37	828 02	828 66	829 30	829 95	830 59	831 23	831 87
68.	832 51	833 15	833 78	834 42	835 06	835 69	836 32	836 96	837 59	838 22
69.	838 85	839 48	840 11	840 73	841 36	841 98	842 61	843 23	843 86	844 48
70.	845 10	845 72	846 34	846 96	847 57	848 19	848 80	849 42	850 03	850 65
71.	851 26	851 87	852 48	853 09	853 70	854 31	854 91	855 52	856 12	856 73
72.	857 33	857 94	858 54	859 14	859 74	860 34	860 94	861 53	862 13	862 73
73.	863 32	863 92	864 51	865 10	865 70	866 29	866 88	867 47	868 06	868 64
74.	869 23	869 82	870 40	870 99	871 57	872 16	872 74	873 32	873 90	874 48
75.	875 06	875 64	876 22	876 79	877 37	877 95	878 52	879 10	879 67	880 24
76.	880 81	881 38	881 95	882 52	883 09	883 66	884 23	884 80	885 36	885 93
77.	886 49	887 05	887 62	888 18	888 74	889 30	889 86	890 42	890 98	891 54
78.	892 09	892 65	893 21	893 76	894 32	894 87	895 42	895 97	896 53	897 08
79.	897 63	898 18	898 73	899 27	899 82	900 37	900 91	901 46	902 00	902 55
80.	903 09	903 63	904 17	904 72	905 26	905 80	906 34	906 87	907 41	907 95
81.	908 49	909 02	909 56	910 09	910 62	911 16	911 69	912 22	912 75	913 28
82.	913 81	914 34	914 87	915 40	915 93	916 45	916 98	917 51	918 03	918 55
83.	919 08	919 60	920 12	920 65	921 17	921 69	922 21	922 73	923 24	923 76
84.	924 28	924 80	925 31	925 83	926 34	926 86	927 37	927 88	928 40	928 91
85.	929 42	929 93	930 44	930 95	931 46	931 97	932 47	932 98	933 49	933 99
86.	934 50	935 00	935 51	936 01	936 51	937 02	937 52	938 02	938 52	939 02
87.	939 52	940 02	940 52	941 01	941 51	942 01	942 50	943 00	943 49	943 99
88.	944 48	944 98	945 47	945 96	946 45	946 94	947 43	947 92	948 41	948 90
89.	949 39	949 88	950 36	950 85	951 34	951 82	952 31	952 79	953 28	953 76
90.	954 24	954 72	955 21	955 69	956 17	956 65	957 13	957 61	958 09	958 56
91.	959 04	959 52	959 99	960 47	960 95	961 42	961 90	962 37	962 84	963 32
92.	963 79	964 26	964 73	965 20	965 67	966 14	966 61	967 08	967 55	968 02
93.	968 48	968 95	969 42	969 88	970 35	970 81	971 28	971 74	972 20	972 67
94.	973 13	973 59	974 05	974 51	974 97	975 43	975 89	976 35	976 81	977 27
95.	977 72	978 18	978 64	979 09	979 55	980 00	980 46	980 91	981 37	981 82
96.	982 27	982 72	983 18	983 63	984 08	984 53	984 98	985 43	985 88	986 32
97.	986 77	987 22	987 67	988 11	988 56	989 00	989 45	989 89	990 34	990 78
98.	991 23	991 67	992 11	992 55	993 00	993 44	993 88	994 32	994 76	995 20
99.	995 64	996 07	996 51	996 95	997 39	997 82	998 26	998 70	999 13	999 57

CALCUL DES NOMBRES RENARD (R) (raison $q = \sqrt[10]{10}$)

Termes	1	q^1	q^2	q^3	q^4	q^5	q^6	q^7	q^8	q^9	q^{10}
log.	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
arith.	1	1,2589	1,5849	1,9953	2,5119	3,1623	3,9811	5,0119	6,3096	7,9433	10
≈	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8,00	10,00

Doc 11

TABLE DES CARRÉS

DES NOMBRES 0 à 499

N^2

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.	0	1	4	9	16	25	36	49	64	81
1.	100	121	144	169	196	225	256	289	324	361
2.	400	441	484	529	576	625	676	729	784	841
3.	900	961	1 024	1 089	1 156	1 225	1 296	1 369	1 444	1 521
4.	1 600	1 681	1 764	1 849	1 936	2 025	2 116	2 209	2 304	2 401
5.	2 500	2 601	2 704	2 809	2 916	3 025	3 136	3 249	3 364	3 481
6.	3 600	3 721	3 844	3 969	4 096	4 225	4 356	4 489	4 624	4 761
7.	4 900	5 041	5 184	5 329	5 476	5 625	5 776	5 929	6 084	6 241
8.	6 400	6 561	6 724	6 889	7 056	7 225	7 396	7 569	7 744	7 921
9.	8 100	8 281	8 464	8 649	8 836	9 025	9 216	9 409	9 604	9 801
10.	10 000	10 201	10 404	10 609	10 816	11 025	11 236	11 449	11 664	11 881
11.	12 100	12 321	12 544	12 769	12 996	13 225	13 456	13 689	13 924	14 161
12.	14 400	14 641	14 884	15 129	15 376	15 625	15 876	16 129	16 384	16 641
13.	16 900	17 161	17 424	17 689	17 956	18 225	18 496	18 769	19 044	19 321
14.	19 600	19 881	20 164	20 449	20 736	21 025	21 316	21 609	21 904	22 201
15.	22 500	22 801	23 104	23 409	23 716	24 025	24 336	24 649	24 964	25 281
16.	25 600	25 921	26 244	26 569	26 896	27 225	27 556	27 889	28 224	28 561
17.	28 900	29 241	29 584	29 929	30 276	30 625	30 976	31 329	31 684	32 041
18.	32 400	32 761	33 124	33 489	33 856	34 225	34 596	34 969	35 344	35 721
19.	36 100	36 481	36 864	37 249	37 636	38 025	38 416	38 809	39 204	39 601
20.	40 000	40 401	40 804	41 209	41 616	42 025	42 436	42 849	43 264	43 681
21.	44 100	44 521	44 944	45 369	45 796	46 225	46 656	47 089	47 524	47 961
22.	48 400	48 841	49 284	49 729	50 176	50 625	51 076	51 529	51 984	52 441
23.	52 900	53 361	53 824	54 289	54 756	55 225	55 696	56 169	56 644	57 121
24.	57 600	58 081	58 564	59 049	59 536	60 025	60 516	61 009	61 504	62 001
25.	62 500	63 001	63 504	64 009	64 516	65 025	65 536	66 049	66 564	67 081
26.	67 600	68 121	68 644	69 169	69 696	70 225	70 756	71 289	71 824	72 361
27.	72 900	73 441	73 984	74 529	75 076	75 625	76 176	76 729	77 284	77 841
28.	78 400	78 961	79 524	80 089	80 656	81 225	81 796	82 369	82 944	83 521
29.	84 100	84 681	85 264	85 849	86 436	87 025	87 616	88 209	88 804	89 401
30.	90 000	90 601	91 204	91 809	92 416	93 025	93 636	94 249	94 864	95 481
31.	96 100	96 721	97 344	97 969	98 596	99 225	99 856	100 489	101 124	101 761
32.	102 400	103 041	103 684	104 329	104 976	105 625	106 276	106 929	107 584	108 241
33.	108 900	109 561	110 224	110 889	111 556	112 225	112 896	113 569	114 244	114 921
34.	115 600	116 281	116 964	117 649	118 336	119 025	119 716	120 409	121 104	121 801
35.	122 500	123 201	123 904	124 609	125 316	126 025	126 736	127 449	128 164	128 881
36.	129 600	130 321	131 044	131 769	132 496	133 225	133 956	134 689	135 424	136 161
37.	136 900	137 641	138 384	139 129	139 876	140 625	141 376	142 129	142 884	143 641
38.	144 400	145 161	145 924	146 689	147 456	148 225	148 996	149 769	150 544	151 321
39.	152 100	152 881	153 664	154 449	155 236	156 025	156 816	157 609	158 404	159 201
40.	160 000	160 801	161 604	162 409	163 216	164 025	164 836	165 649	166 464	167 281
41.	168 100	168 921	169 744	170 569	171 396	172 225	173 056	173 889	174 724	175 561
42.	176 400	177 241	178 084	178 929	179 776	180 625	181 476	182 329	183 184	184 041
43.	184 900	185 761	186 624	187 489	188 356	189 225	190 096	190 969	191 844	192 721
44.	193 600	194 481	195 364	196 249	197 136	198 025	198 916	199 809	200 704	201 601
45.	202 500	203 401	204 304	205 209	206 116	207 025	207 936	208 849	209 764	210 681
46.	211 600	212 521	213 444	214 369	215 296	216 225	217 156	218 089	219 024	219 961
47.	220 900	221 841	222 784	223 729	224 676	225 625	226 576	227 529	228 484	229 441
48.	230 400	231 361	232 324	233 289	234 256	235 225	236 196	237 169	238 144	239 121
49.	240 100	241 081	242 064	243 049	244 036	245 025	246 016	247 009	248 004	249 001

CARRÉ DE 10 N, 100 N....,

① Carrés des puissances de 10

doubler le nombre de zéros

$10^2 = 100$

$100^2 = 10\,000$

$1000^2 = 1\,000\,000$

② Carré d'un nombre de 3 chiffres

lire la table

Ex: $135^2 = 18\,225$

③ Carré d'un nombre ayant 3 chiffres significatifs

Ex: $1340^2 = 134^2 \times 10^2 = 1\,795\,600$

$2500^2 = 25^2 \times 100^2 = 6\,250\,000$

④ Carré d'un nombre quelconque

Ex: $6253^2 \approx 6250^2 \approx 39\,062\,500$

N^2 TABLE DES CARRÉS

DES NOMBRES 500 à 999

Doc 12

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50.	250 000	251 001	252 004	253 009	254 016	255 025	256 036	257 049	258 064	259 081
51.	260 100	261 121	262 144	263 169	264 196	265 225	266 256	267 289	268 324	269 361
52.	270 400	271 441	272 484	273 529	274 576	275 625	276 676	277 729	278 784	279 841
53.	280 900	281 961	283 024	284 089	285 156	286 225	287 296	288 369	289 444	290 521
54.	291 600	292 681	293 764	294 849	295 936	297 025	298 116	299 209	300 304	301 401
55.	302 500	303 601	304 704	305 809	306 916	308 025	309 136	310 249	311 364	312 481
56.	313 600	314 721	315 844	316 969	318 096	319 225	320 356	321 489	322 624	323 761
57.	324 900	326 041	327 184	328 329	329 476	330 625	331 776	332 929	334 084	335 241
58.	336 400	337 561	338 724	339 889	341 056	342 225	343 396	344 569	345 744	346 921
59.	348 100	349 281	350 464	351 649	352 836	354 025	355 216	356 409	357 604	358 801
60.	360 000	361 201	362 404	363 609	364 816	366 025	367 236	368 449	369 664	370 881
61.	372 100	373 321	374 544	375 769	376 996	378 225	379 456	380 689	381 924	383 161
62.	384 400	385 641	386 884	388 129	389 376	390 625	391 876	393 129	394 384	395 641
63.	396 900	398 161	399 424	400 689	401 956	403 225	404 496	405 769	407 044	408 321
64.	409 600	410 881	412 164	413 449	414 736	416 025	417 316	418 609	419 904	421 201
65.	422 500	423 801	425 104	426 409	427 716	429 025	430 336	431 649	432 964	434 281
66.	435 600	436 921	438 244	439 569	440 896	442 225	443 556	444 889	446 224	447 561
67.	448 900	450 241	451 584	452 929	454 276	455 625	456 976	458 329	459 684	461 041
68.	462 400	463 761	465 124	466 489	467 856	469 225	470 596	471 969	473 344	474 721
69.	476 100	477 481	478 864	480 249	481 636	483 025	484 416	485 809	487 204	488 601
70.	490 000	491 401	492 804	494 209	495 616	497 025	498 436	499 849	501 264	502 681
71.	504 100	505 521	506 944	508 369	509 796	511 225	512 656	514 089	515 524	516 961
72.	518 400	519 841	521 284	522 729	524 176	525 625	527 076	528 529	529 984	531 441
73.	532 900	534 361	535 824	537 289	538 756	540 225	541 696	543 169	544 644	546 121
74.	547 600	549 081	550 564	552 049	553 536	555 025	556 516	558 009	559 504	561 001
75.	562 500	564 001	565 504	567 009	568 516	570 025	571 536	573 049	574 564	576 081
76.	577 600	579 121	580 644	582 169	583 696	585 225	586 756	588 289	589 824	591 361
77.	592 900	594 441	595 984	597 529	599 076	600 625	602 176	603 729	605 284	606 841
78.	608 400	609 961	611 524	613 089	614 656	616 225	617 796	619 369	620 944	622 521
79.	624 100	625 681	627 264	628 849	630 436	632 025	633 616	635 209	636 804	638 401
80.	640 000	641 601	643 204	644 809	646 416	648 025	649 636	651 249	652 864	654 481
81.	656 100	657 721	659 344	660 969	662 596	664 225	665 856	667 489	669 124	670 761
82.	672 400	674 041	675 684	677 329	678 976	680 625	682 276	683 929	685 584	687 241
83.	688 900	690 561	692 224	693 889	695 556	697 225	698 896	700 569	702 244	703 921
84.	705 600	707 281	708 964	710 649	712 336	714 025	715 716	717 409	719 104	720 801
85.	722 500	724 201	725 904	727 609	729 316	731 025	732 736	734 449	736 164	737 881
86.	739 600	741 321	743 044	744 769	746 496	748 225	749 956	751 689	753 424	755 161
87.	756 900	758 641	760 384	762 129	763 876	765 625	767 376	769 129	770 884	772 641
88.	774 400	776 161	777 924	779 689	781 456	783 225	784 996	786 769	788 544	790 321
89.	792 100	793 881	795 664	797 449	799 236	801 025	802 816	804 609	806 404	808 201
90.	810 000	811 801	813 604	815 409	817 216	819 025	820 836	822 649	824 464	826 281
91.	828 100	829 921	831 744	833 569	835 396	837 225	839 056	840 889	842 724	844 561
92.	846 400	848 241	850 084	851 929	853 776	855 625	857 476	859 329	861 184	863 041
93.	864 900	866 761	868 624	870 489	872 356	874 225	876 096	877 969	879 844	881 721
94.	883 600	885 481	887 364	889 249	891 136	893 025	894 916	896 809	898 704	900 601
95.	902 500	904 401	906 304	908 209	910 116	912 025	913 936	915 849	917 764	919 681
96.	921 600	923 521	925 444	927 369	929 296	931 225	933 156	935 089	937 024	938 961
97.	940 900	942 841	944 784	946 729	948 676	950 625	952 576	954 529	956 484	958 441
98.	960 400	962 361	964 324	966 289	968 256	970 225	972 196	974 169	976 144	978 121
99.	980 100	982 081	984 064	986 049	988 036	990 025	992 016	994 009	996 004	998 001

① CARRÉS DES NOMBRES DÉCIMAUX

Exemple :

$12{,}6^2 = 153{,}76$

carré de 126,

(2 chiffres décimaux)

Ne pas tenir compte de la virgule et effectuer le carré.

Séparer, à droite, un nombre double de chiffres décimaux :

2 si le nombre en comporte 1

4 — — — — — — — — — 2

6 — — — — — — — — — 3

— — —

Exemple :

$3{,}14^2 = 9{,}8596$

carré de 314,

(4 chiffres décimaux)

Doc 13

TABLE DES RACINES CARRÉES

DES NOMBRES 0 à 499

$\sqrt{N}$

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.	0,0000	1,0000	1,4142	1,7321	2,0000	2,2361	2,4495	2,6458	2,8284	3,0000
1.	3,1623	3,3166	3,4641	3,6056	3,7417	3,8730	4,0000	4,1231	4,2426	4,3589
2.	4,4721	4,5826	4,6904	4,7958	4,8990	5,0000	5,0990	5,1962	5,2915	5,3852
3.	5,4772	5,5678	5,6569	5,7446	5,8310	5,9161	6,0000	6,0828	6,1644	6,2450
4.	6,3246	6,4031	6,4807	6,5574	6,6332	6,7082	6,7823	6,8557	6,9282	7,0000
5.	7,0711	7,1414	7,2111	7,2801	7,3485	7,4162	7,4833	7,5498	7,6158	7,6811
6.	7,7460	7,8102	7,8740	7,9373	8,0000	8,0623	8,1240	8,1854	8,2462	8,3066
7.	8,3666	8,4261	8,4853	8,5440	8,6023	8,6603	8,7178	8,7750	8,8318	8,8882
8.	8,9443	9,0000	9,0554	9,1104	9,1652	9,2195	9,2736	9,3274	9,3808	9,4340
9.	9,4868	9,5394	9,5917	9,6437	9,6954	9,7468	9,7980	9,8489	9,8995	9,9499
10.	10,0000	10,0499	10,0995	10,1489	10,1980	10,2470	10,2956	10,3441	10,3923	10,4403
11.	10,4881	10,5357	10,5830	10,6301	10,6771	10,7238	10,7703	10,8167	10,8628	10,9087
12.	10,9545	11,0000	11,0454	11,0905	11,1355	11,1803	11,2250	11,2694	11,3137	11,3578
13.	11,4018	11,4455	11,4891	11,5326	11,5758	11,6190	11,6619	11,7047	11,7473	11,7898
14.	11,8322	11,8743	11,9164	11,9583	12,0000	12,0416	12,0830	12,1244	12,1655	12,2066
15.	12,2474	12,2882	12,3288	12,3693	12,4097	12,4499	12,4900	12,5300	12,5698	12,6095
16.	12,6491	12,6886	12,7279	12,7671	12,8062	12,8452	12,8841	12,9228	12,9615	13,0000
17.	13,0384	13,0767	13,1149	13,1529	13,1909	13,2288	13,2665	13,3041	13,3417	13,3791
18.	13,4164	13,4536	13,4907	13,5277	13,5647	13,6015	13,6382	13,6748	13,7113	13,7477
19.	13,7840	13,8203	13,8564	13,8924	13,9284	13,9642	14,0000	14,0357	14,0712	14,1067
20.	14,1421	14,1774	14,2127	14,2478	14,2829	14,3178	14,3527	14,3875	14,4222	14,4568
21.	14,4914	14,5258	14,5602	14,5945	14,6287	14,6629	14,6969	14,7309	14,7648	14,7986
22.	14,8324	14,8661	14,8997	14,9332	14,9666	15,0000	15,0333	15,0665	15,0997	15,1327
23.	15,1658	15,1987	15,2315	15,2643	15,2971	15,3297	15,3623	15,3948	15,4272	15,4596
24.	15,4919	15,5242	15,5563	15,5885	15,6205	15,6525	15,6844	15,7162	15,7480	15,7797
25.	15,8114	15,8430	15,8745	15,9060	15,9374	15,9687	16,0000	16,0312	16,0624	16,0935
26.	16,1245	16,1555	16,1864	16,2173	16,2481	16,2788	16,3095	16,3401	16,3707	16,4012
27.	16,4317	16,4621	16,4924	16,5227	16,5529	16,5831	16,6132	16,6433	16,6733	16,7033
28.	16,7332	16,7631	16,7929	16,8226	16,8523	16,8819	16,9115	16,9411	16,9706	17,0000
29.	17,0294	17,0587	17,0880	17,1172	17,1464	17,1756	17,2047	17,2337	17,2627	17,2916
30.	17,3205	17,3494	17,3781	17,4069	17,4356	17,4642	17,4929	17,5214	17,5499	17,5784
31.	17,6068	17,6352	17,6635	17,6918	17,7200	17,7482	17,7764	17,8045	17,8326	17,8606
32.	17,8885	17,9165	17,9444	17,9722	18,0000	18,0278	18,0555	18,0831	18,1108	18,1384
33.	18,1659	18,1934	18,2209	18,2483	18,2757	18,3030	18,3303	18,3576	18,3848	18,4120
34.	18,4391	18,4662	18,4932	18,5203	18,5472	18,5742	18,6011	18,6279	18,6548	18,6815
35.	18,7083	18,7350	18,7617	18,7883	18,8149	18,8414	18,8680	18,8944	18,9209	18,9473
36.	18,9737	19,0000	19,0263	19,0526	19,0788	19,1050	19,1311	19,1572	19,1833	19,2094
37.	19,2354	19,2614	19,2873	19,3132	19,3391	19,3649	19,3907	19,4165	19,4422	19,4679
38.	19,4936	19,5192	19,5448	19,5704	19,5959	19,6214	19,6469	19,6723	19,6977	19,7231
39.	19,7484	19,7737	19,7990	19,8242	19,8494	19,8746	19,8997	19,9249	19,9499	19,9750
40.	20,0000	20,0250	20,0499	20,0749	20,0998	20,1246	20,1494	20,1742	20,1990	20,2237
41.	20,2485	20,2731	20,2978	20,3224	20,3470	20,3715	20,3961	20,4206	20,4450	20,4695
42.	20,4939	20,5183	20,5426	20,5670	20,5913	20,6155	20,6398	20,6640	20,6882	20,7123
43.	20,7364	20,7605	20,7846	20,8087	20,8327	20,8567	20,8806	20,9045	20,9284	20,9523
44.	20,9762	21,0000	21,0238	21,0476	21,0713	21,0950	21,1187	21,1424	21,1660	21,1896
45.	21,2132	21,2368	21,2603	21,2838	21,3073	21,3307	21,3542	21,3776	21,4009	21,4243
46.	21,4476	21,4709	21,4942	21,5174	21,5407	21,5639	21,5870	21,6102	21,6333	21,6564
47.	21,6795	21,7025	21,7256	21,7486	21,7715	21,7945	21,8174	21,8403	21,8632	21,8861
48.	21,9089	21,9317	21,9545	21,9773	22,0000	22,0227	22,0454	22,0681	22,0907	22,1133
49.	22,1359	22,1585	22,1811	22,2036	22,2261	22,2486	22,2711	22,2935	22,3159	22,3383

RACINE CARRÉE DE 10 N . 100 N..... 0,1 N . 0,01 N .

① Racine carrée des puissances de 10: diviser par 2 le nombre de zéros

$\sqrt{100} = 10$ $\sqrt{10\,000} = 100$

② Racine carrée d'un nombre de 3 chiffres: lire dans la table.

Ex. $\sqrt{961} = 31$

③ Racine carrée d'un nombre ayant 3 chiffres significatifs:

$\sqrt{12\,800} = \sqrt{128} \times \sqrt{100} = 113{,}137$

④ Racine carrée d'un nombre décimal.

Ex. $\sqrt{7{,}5} = \sqrt{\frac{750}{100}} = \frac{\sqrt{750}}{10} = 2{,}739$

$\sqrt{N}$ TABLE DES RACINES CARRÉES

DES NOMBRES 500 à 999

Doc 14

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50.	22,3607	22,3830	22,4054	22,4277	22,4499	22,4722	22,4944	22,5167	22,5389	22,5610
51.	22,5832	22,6053	22,6274	22,6495	22,6716	22,6936	22,7156	22,7376	22,7596	22,7816
52.	22,8035	22,8254	22,8473	22,8692	22,8910	22,9129	22,9347	22,9565	22,9783	23,0000
53.	23,0217	23,0434	23,0651	23,0868	23,1084	23,1301	23,1517	23,1733	23,1948	23,2164
54.	23,2379	23,2594	23,2809	23,3024	23,3238	23,3452	23,3666	23,3880	23,4094	23,4307
55.	23,4521	23,4734	23,4947	23,5160	23,5372	23,5584	23,5797	23,6008	23,6220	23,6432
56.	23,6643	23,6854	23,7065	23,7276	23,7487	23,7697	23,7908	23,8118	23,8328	23,8537
57.	23,8747	23,8956	23,9165	23,9374	23,9583	23,9792	24,0000	24,0208	24,0416	24,0624
58.	24,0832	24,1039	24,1247	24,1454	24,1661	24,1868	24,2074	24,2281	24,2487	24,2693
59.	24,2899	24,3105	24,3311	24,3516	24,3721	24,3926	24,4131	24,4336	24,4540	24,4745
60.	24,4949	24,5153	24,5357	24,5561	24,5764	24,5967	24,6171	24,6374	24,6577	24,6779
61.	24,6982	24,7184	24,7386	24,7588	24,7790	24,7992	24,8193	24,8395	24,8596	24,8797
62.	24,8998	24,9199	24,9399	24,9600	24,9800	25,0000	25,0200	25,0400	25,0599	25,0799
63.	25,0998	25,1197	25,1396	25,1595	25,1794	25,1992	25,2190	25,2389	25,2587	25,2784
64.	25,2982	25,3180	25,3377	25,3574	25,3772	25,3969	25,4165	25,4362	25,4558	25,4755
65.	25,4951	25,5147	25,5343	25,5539	25,5734	25,5930	25,6125	25,6320	25,6515	25,6710
66.	25,6905	25,7099	25,7294	25,7488	25,7682	25,7876	25,8070	25,8263	25,8457	25,8650
67.	25,8844	25,9037	25,9230	25,9422	25,9615	25,9808	26,0000	26,0192	26,0384	26,0576
68.	26,0768	26,0960	26,1151	26,1343	26,1534	26,1725	26,1916	26,2107	26,2298	26,2488
69.	26,2679	26,2869	26,3059	26,3249	26,3439	26,3629	26,3818	26,4008	26,4197	26,4386
70.	26,4575	26,4764	26,4953	26,5141	26,5330	26,5518	26,5707	26,5895	26,6083	26,6271
71.	26,6458	26,6646	26,6833	26,7021	26,7208	26,7395	26,7582	26,7769	26,7955	26,8142
72.	26,8328	26,8514	26,8701	26,8887	26,9072	26,9258	26,9444	26,9629	26,9815	27,0000
73.	27,0185	27,0370	27,0555	27,0740	27,0924	27,1109	27,1293	27,1477	27,1662	27,1846
74.	27,2029	27,2213	27,2397	27,2580	27,2764	27,2947	27,3130	27,3313	27,3496	27,3679
75.	27,3861	27,4044	27,4226	27,4408	27,4591	27,4773	27,4955	27,5136	27,5318	27,5500
76.	27,5681	27,5862	27,6043	27,6225	27,6405	27,6586	27,6767	27,6948	27,7128	27,7308
77.	27,7489	27,7669	27,7849	27,8029	27,8209	27,8388	27,8568	27,8747	27,8927	27,9106
78.	27,9285	27,9464	27,9643	27,9821	28,0000	28,0179	28,0357	28,0535	28,0713	28,0891
79.	28,1069	28,1247	28,1425	28,1603	28,1780	28,1957	28,2135	28,2312	28,2489	28,2666
80.	28,2843	28,3019	28,3196	28,3373	28,3549	28,3725	28,3901	28,4077	28,4253	28,4429
81.	28,4605	28,4781	28,4956	28,5132	28,5307	28,5482	28,5657	28,5832	28,6007	28,6182
82.	28,6356	28,6531	28,6705	28,6880	28,7054	28,7228	28,7402	28,7576	28,7750	28,7924
83.	28,8097	28,8271	28,8444	28,8617	28,8791	28,8964	28,9137	28,9310	28,9482	28,9655
84.	28,9828	29,0000	29,0172	29,0345	29,0517	29,0689	29,0861	29,1033	29,1204	29,1376
85.	29,1548	29,1719	29,1890	29,2062	29,2233	29,2404	29,2575	29,2746	29,2916	29,3087
86.	29,3258	29,3428	29,3598	29,3769	29,3939	29,4109	29,4279	29,4449	29,4618	29,4788
87.	29,4958	29,5127	29,5296	29,5466	29,5635	29,5804	29,5973	29,6142	29,6311	29,6479
88.	29,6648	29,6816	29,6985	29,7153	29,7321	29,7489	29,7658	29,7825	29,7993	29,8161
89.	29,8329	29,8496	29,8664	29,8831	29,8998	29,9166	29,9333	29,9500	29,9666	29,9833
90.	30,0000	30,0167	30,0333	30,0500	30,0666	30,0832	30,0998	30,1164	30,1330	30,1496
91.	30,1662	30,1828	30,1993	30,2159	30,2324	30,2490	30,2655	30,2820	30,2985	30,3150
92.	30,3315	30,3480	30,3645	30,3809	30,3974	30,4138	30,4302	30,4467	30,4631	30,4795
93.	30,4959	30,5123	30,5287	30,5450	30,5614	30,5778	30,5941	30,6105	30,6268	30,6431
94.	30,6594	30,6757	30,6920	30,7083	30,7246	30,7409	30,7571	30,7734	30,7896	30,8058
95.	30,8221	30,8383	30,8545	30,8707	30,8869	30,9031	30,9192	30,9354	30,9516	30,9677
96.	30,9839	31,0000	31,0161	31,0322	31,0483	31,0644	31,0805	31,0966	31,1127	31,1288
97.	31,1448	31,1609	31,1769	31,1929	31,2090	31,2250	31,2410	31,2570	31,2730	31,2890
98.	31,3050	31,3209	31,3369	31,3528	31,3688	31,3847	31,4006	31,4166	31,4325	31,4484
99.	31,4643	31,4802	31,4960	31,5119	31,5278	31,5436	31,5595	31,5753	31,5911	31,6070

① EXTRACTION DE LA RACINE CARRÉE

Exemple:

6'25	25
4	45
225	5
225	225
0	

1. Partager en tranches de 2 chiffres en partant de la virgule
2. Extraire la racine de la 1ère tranche ($\sqrt{6} \approx 2$)
3. Soustraire de la 1ère tranche le carré de cette racine ($6-2^2=2$)
4. Abaisser à côté du reste la 2ème tranche. Isoler le premier chiffre à droite (22,5)
5. Diviser la tranche de gauche par 2 fois la racine ($22:4 \approx 5$)
6. Ecrire 5 à la droite de 4 et multiplier par 5
7. Retrancher de 225... ...etc...

Doc 15 — **SINUS 0° à 45°** — **S**

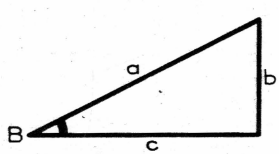
Degrés	Minutes 0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	0,0175	89
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	0,0349	88
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0436	0,0465	0,0494	0,0523	87
3	0,0523	0,0552	0,0581	0,0611	0,0640	0,0669	0,0698	86
4	0,0698	0,0727	0,0756	0,0785	0,0814	0,0843	0,0872	85
5	0,0872	0,0901	0,0930	0,0959	0,0987	0,1016	0,1045	84
6	0,1045	0,1074	0,1103	0,1132	0,1161	0,1190	0,1219	83
7	0,1219	0,1248	0,1276	0,1305	0,1334	0,1363	0,1392	82
8	0,1392	0,1421	0,1449	0,1478	0,1507	0,1536	0,1564	81
9	0,1564	0,1593	0,1622	0,1651	0,1679	0,1708	0,1737	80
10	0,1737	0,1765	0,1794	0,1822	0,1851	0,1880	0,1908	79
11	0,1908	0,1937	0,1965	0,1994	0,2022	0,2051	0,2079	78
12	0,2079	0,2108	0,2136	0,2164	0,2193	0,2221	0,2250	77
13	0,2250	0,2278	0,2306	0,2335	0,2363	0,2391	0,2419	76
14	0,2419	0,2447	0,2476	0,2504	0,2532	0,2560	0,2588	75
15	0,2588	0,2616	0,2644	0,2672	0,2700	0,2728	0,2756	74
16	0,2756	0,2784	0,2812	0,2840	0,2868	0,2896	0,2924	73
17	0,2924	0,2952	0,2979	0,3007	0,3035	0,3063	0,3090	72
18	0,3090	0,3118	0,3145	0,3173	0,3201	0,3228	0,3256	71
19	0,3256	0,3283	0,3311	0,3338	0,3366	0,3393	0,3420	70
20	0,3420	0,3448	0,3475	0,3502	0,3529	0,3557	0,3584	69
21	0,3584	0,3611	0,3638	0,3665	0,3692	0,3719	0,3746	68
22	0,3746	0,3773	0,3800	0,3827	0,3854	0,3881	0,3907	67
23	0,3907	0,3934	0,3961	0,3988	0,4014	0,4041	0,4067	66
24	0,4067	0,4094	0,4120	0,4147	0,4173	0,4200	0,4226	65
25	0,4226	0,4253	0,4279	0,4305	0,4331	0,4358	0,4384	64
26	0,4384	0,4410	0,4436	0,4462	0,4488	0,4514	0,4540	63
27	0,4540	0,4566	0,4592	0,4618	0,4643	0,4669	0,4695	62
28	0,4695	0,4720	0,4746	0,4772	0,4797	0,4823	0,4848	61
29	0,4848	0,4874	0,4899	0,4924	0,4950	0,4975	0,5000	60
30	0,5000	0,5025	0,5050	0,5075	0,5100	0,5125	0,5150	59
31	0,5150	0,5175	0,5200	0,5225	0,5250	0,5275	0,5299	58
32	0,5299	0,5324	0,5348	0,5373	0,5398	0,5422	0,5446	57
33	0,5446	0,5471	0,5495	0,5519	0,5544	0,5568	0,5592	56
34	0,5592	0,5616	0,5640	0,5664	0,5688	0,5712	0,5736	55
35	0,5736	0,5760	0,5783	0,5807	0,5831	0,5854	0,5878	54
36	0,5878	0,5901	0,5925	0,5948	0,5972	0,5995	0,6018	53
37	0,6018	0,6041	0,6065	0,6088	0,6111	0,6134	0,6157	52
38	0,6157	0,6180	0,6202	0,6225	0,6248	0,6271	0,6293	51
39	0,6293	0,6316	0,6338	0,6361	0,6383	0,6406	0,6428	50
40	0,6428	0,6450	0,6472	0,6495	0,6517	0,6539	0,6561	49
41	0,6561	0,6583	0,6604	0,6626	0,6648	0,6670	0,6691	48
42	0,6691	0,6713	0,6734	0,6756	0,6777	0,6799	0,6820	47
43	0,6820	0,6841	0,6862	0,6884	0,6905	0,6926	0,6947	46
44	0,6947	0,6968	0,6988	0,7009	0,7030	0,7051	0,7071	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Degrés
				Minutes				

COSINUS 45° à 90°

$\sin\widehat{B} = \frac{b}{a}$

$b = a \sin\widehat{B}$

$a = \frac{b}{\sin\widehat{B}}$



$\cos\widehat{B} = \frac{c}{a}$

$c = a \cos\widehat{B}$

$a = \frac{c}{\cos\widehat{B}}$

S — SINUS 45° à 90°

Doc 16

Degrés	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	Degrés
	Minutes							
45	0,7071	0,7092	0,7112	0,7132	0,7153	0,7173	0,7193	44
46	0,7193	0,7214	0,7234	0,7254	0,7274	0,7294	0,7313	43
47	0,7313	0,7333	0,7353	0,7373	0,7392	0,7412	0,7431	42
48	0,7431	0,7451	0,7470	0,7490	0,7509	0,7528	0,7547	41
49	0,7547	0,7566	0,7585	0,7604	0,7623	0,7642	0,7660	40
50	0,7660	0,7679	0,7698	0,7716	0,7735	0,7753	0,7771	39
51	0,7771	0,7790	0,7808	0,7826	0,7844	0,7862	0,7880	38
52	0,7880	0,7898	0,7916	0,7933	0,7951	0,7969	0,7986	37
53	0,7986	0,8004	0,8021	0,8039	0,8056	0,8073	0,8090	36
54	0,8090	0,8107	0,8124	0,8141	0,8158	0,8175	0,8191	35
55	0,8191	0,8208	0,8225	0,8241	0,8258	0,8274	0,8290	34
56	0,8290	0,8307	0,8323	0,8339	0,8355	0,8371	0,8387	33
57	0,8387	0,8403	0,8418	0,8434	0,8450	0,8465	0,8481	32
58	0,8481	0,8496	0,8511	0,8526	0,8542	0,8557	0,8572	31
59	0,8572	0,8587	0,8602	0,8616	0,8631	0,8646	0,8660	30
60	0,8660	0,8675	0,8689	0,8704	0,8718	0,8732	0,8746	29
61	0,8746	0,8760	0,8774	0,8788	0,8802	0,8816	0,8830	28
62	0,8830	0,8843	0,8857	0,8870	0,8884	0,8897	0,8910	27
63	0,8910	0,8923	0,8936	0,8949	0,8962	0,8975	0,8988	26
64	0,8988	0,9001	0,9013	0,9026	0,9038	0,9051	0,9063	25
65	0,9063	0,9075	0,9088	0,9100	0,9112	0,9124	0,9136	24
66	0,9136	0,9147	0,9159	0,9171	0,9182	0,9194	0,9205	23
67	0,9205	0,9216	0,9228	0,9239	0,9250	0,9261	0,9272	22
68	0,9272	0,9283	0,9293	0,9304	0,9315	0,9325	0,9336	21
69	0,9336	0,9346	0,9357	0,9367	0,9377	0,9387	0,9397	20
70	0,9397	0,9407	0,9417	0,9426	0,9436	0,9446	0,9455	19
71	0,9455	0,9465	0,9474	0,9483	0,9492	0,9501	0,9511	18
72	0,9511	0,9520	0,9528	0,9537	0,9546	0,9555	0,9563	17
73	0,9563	0,9572	0,9580	0,9588	0,9596	0,9605	0,9613	16
74	0,9613	0,9621	0,9629	0,9636	0,9644	0,9652	0,9659	15
75	0,9659	0,9667	0,9674	0,9682	0,9689	0,9696	0,9703	14
76	0,9703	0,9710	0,9717	0,9724	0,9730	0,9737	0,9744	13
77	0,9744	0,9750	0,9757	0,9763	0,9769	0,9775	0,9782	12
78	0,9782	0,9788	0,9793	0,9799	0,9805	0,9811	0,9816	11
79	0,9816	0,9822	0,9827	0,9832	0,9838	0,9843	0,9848	10
80	0,9848	0,9853	0,9858	0,9863	0,9868	0,9872	0,9877	9
81	0,9877	0,9881	0,9886	0,9890	0,9894	0,9899	0,9903	8
82	0,9903	0,9907	0,9911	0,9914	0,9918	0,9922	0,9925	7
83	0,9925	0,9929	0,9932	0,9936	0,9939	0,9942	0,9945	6
84	0,9945	0,9948	0,9951	0,9954	0,9957	0,9959	0,9962	5
85	0,9962	0,9964	0,9967	0,9969	0,9971	0,9974	0,9976	4
86	0,9976	0,9978	0,9980	0,9981	0,9983	0,9985	0,9986	3
87	0,9986	0,9988	0,9989	0,9990	0,9992	0,9993	0,9994	2
88	0,9994	0,9995	0,9996	0,9997	0,9997	0,9998	0,9998	1
89	0,9998	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	1,0000	1,0000	0
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Degrés
				Minutes				

COSINUS 0° à 45°

LECTURE DIRECTE	CALCUL UTILISANT LA DIFFERENCE TABULAIRE	LECTURE DIRECTE
Exemple: sin 20°10' = 0,3448	sin 20°16'	Exemple: cos 25°40' = 0,9013
A retenir sin 30° = 0,5 sin 45° = 0,707 sin 60° = 0,866	sin 20°20' = 0,3475 sin 20°10' = 0,3448 différence 10' Δ = 27 pour 6 = $\frac{27 \times 6}{10}$ = 16 différence Δ' = 0,0016 sin 20°10' = 0,3448 sin 20°16' = 0,3464	A retenir cos 30° = 0,866 cos 45° = 0,707 cos 60° = 0,5

Doc 17 — TANGENTE 0° à 45°

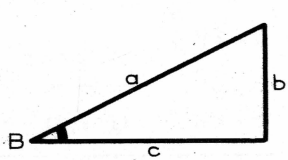
Degrés	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	T
	Minutes							
0	0,0000	0,0029	0,0058	0,0087	0,0116	0,0145	0,0175	89
1	0,0175	0,0204	0,0233	0,0262	0,0291	0,0320	0,0349	88
2	0,0349	0,0378	0,0407	0,0437	0,0466	0,0495	0,0524	87
3	0,0524	0,0553	0,0582	0,0612	0,0641	0,0670	0,0699	86
4	0,0699	0,0729	0,0758	0,0787	0,0816	0,0846	0,0875	85
5	0,0875	0,0904	0,0934	0,0963	0,0992	0,1022	0,1051	84
6	0,1051	0,1081	0,1110	0,1139	0,1169	0,1198	0,1228	83
7	0,1228	0,1257	0,1287	0,1317	0,1346	0,1376	0,1405	82
8	0,1405	0,1435	0,1465	0,1495	0,1524	0,1554	0,1584	81
9	0,1584	0,1614	0,1644	0,1673	0,1703	0,1733	0,1763	80
10	0,1763	0,1793	0,1823	0,1853	0,1884	0,1914	0,1944	79
11	0,1944	0,1974	0,2004	0,2035	0,2065	0,2095	0,2126	78
12	0,2126	0,2156	0,2186	0,2217	0,2248	0,2278	0,2309	77
13	0,2309	0,2339	0,2370	0,2401	0,2432	0,2462	0,2493	76
14	0,2493	0,2524	0,2555	0,2586	0,2617	0,2648	0,2680	75
15	0,2680	0,2711	0,2742	0,2773	0,2805	0,2836	0,2868	74
16	0,2868	0,2899	0,2931	0,2962	0,2994	0,3027	0,3057	73
17	0,3057	0,3089	0,3121	0,3153	0,3185	0,3217	0,3249	72
18	0,3249	0,3281	0,3314	0,3346	0,3378	0,3411	0,3443	71
19	0,3443	0,3476	0,3508	0,3541	0,3574	0,3607	0,3640	70
20	0,3640	0,3673	0,3706	0,3739	0,3772	0,3805	0,3839	69
21	0,3839	0,3872	0,3906	0,3939	0,3973	0,4007	0,4040	68
22	0,4040	0,4074	0,4108	0,4142	0,4176	0,4211	0,4245	67
23	0,4245	0,4279	0,4314	0,4348	0,4383	0,4418	0,4452	66
24	0,4452	0,4487	0,4522	0,4557	0,4592	0,4628	0,4663	65
25	0,4663	0,4699	0,4734	0,4770	0,4806	0,4841	0,4877	64
26	0,4877	0,4913	0,4950	0,4986	0,5022	0,5059	0,5095	63
27	0,5095	0,5132	0,5169	0,5206	0,5243	0,5280	0,5317	62
28	0,5317	0,5355	0,5392	0,5430	0,5467	0,5505	0,5543	61
29	0,5543	0,5581	0,5619	0,5658	0,5696	0,5735	0,5774	60
30	0,5774	0,5812	0,5851	0,5891	0,5930	0,5969	0,6009	59
31	0,6009	0,6048	0,6088	0,6128	0,6168	0,6208	0,6249	58
32	0,6249	0,6289	0,6330	0,6371	0,6412	0,6453	0,6494	57
33	0,6494	0,6536	0,6577	0,6619	0,6661	0,6703	0,6745	56
34	0,6745	0,6788	0,6830	0,6873	0,6916	0,6959	0,7002	55
35	0,7002	0,7046	0,7089	0,7133	0,7177	0,7221	0,7265	54
36	0,7265	0,7310	0,7355	0,7400	0,7445	0,7490	0,7536	53
37	0,7536	0,7581	0,7627	0,7673	0,7720	0,7766	0,7813	52
38	0,7813	0,7860	0,7907	0,7954	0,8002	0,8050	0,8098	51
39	0,8098	0,8146	0,8195	0,8243	0,8292	0,8342	0,8391	50
40	0,8391	0,8441	0,8491	0,8541	0,8591	0,8642	0,8693	49
41	0,8693	0,8744	0,8796	0,8847	0,8899	0,8952	0,9004	48
42	0,9004	0,9057	0,9110	0,9163	0,9217	0,9271	0,9325	47
43	0,9325	0,9380	0,9435	0,9490	0,9545	0,9601	0,9657	46
44	0,9657	0,9713	0,9770	0,9827	0,9884	0,9942	1,0000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Degrés
				Minutes				

COTANGENTE 45° à 90°

$$\text{tg}\widehat{B} = \frac{b}{c}$$

$$b = c\ \text{tg}\widehat{B}$$

$$c = \frac{b}{\text{tg}\widehat{B}}$$



$$\text{cotg}\widehat{B} = \frac{c}{b}$$

$$b = \frac{c}{\text{cotg}\widehat{B}}$$

$$c = b\ \text{cotg}\widehat{B}$$

T — TANGENTE 45° à 90°

Doc 18

Degrés	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	Degrés
	Minutes							
45	1,0000	1,0058	1,0117	1,0176	1,0236	1,0295	1,0355	44
46	1,0355	1,0416	1,0477	1,0538	1,0599	1,0661	1,0724	43
47	1,0724	1,0786	1,0850	1,0913	1,0977	1,1041	1,1106	42
48	1,1106	1,1171	1,1237	1,1303	1,1369	1,1436	1,1504	41
49	1,1504	1,1572	1,1640	1,1709	1,1778	1,1847	1,1918	40
50	1,1918	1,1988	1,2059	1,2131	1,2203	1,2276	1,2349	39
51	1,2349	1,2423	1,2497	1,2572	1,2647	1,2723	1,2799	38
52	1,2799	1,2876	1,2954	1,3032	1,3111	1,3190	1,3270	37
53	1,3270	1,3351	1,3432	1,3514	1,3597	1,3680	1,3764	36
54	1,3764	1,3848	1,3934	1,4020	1,4106	1,4193	1,4281	35
55	1,4281	1,4370	1,4460	1,4550	1,4641	1,4733	1,4826	34
56	1,4826	1,4919	1,5013	1,5108	1,5204	1,5301	1,5399	33
57	1,5399	1,5497	1,5597	1,5697	1,5798	1,5900	1,6003	32
58	1,6003	1,6107	1,6213	1,6319	1,6426	1,6534	1,6643	31
59	1,6643	1,6753	1,6864	1,6977	1,7090	1,7205	1,7321	30
60	1,7321	1,7438	1,7556	1,7675	1,7796	1,7917	1,8041	29
61	1,8041	1,8165	1,8291	1,8418	1,8546	1,8676	1,8807	28
62	1,8807	1,8940	1,9074	1,9210	1,9347	1,9486	1,9626	27
63	1,9626	1,9768	1,9912	2,0057	2,0204	2,0353	2,0503	26
64	2,0503	2,0655	2,0809	2,0965	2,1123	2,1283	2,1445	25
65	2,1445	2,1609	2,1775	2,1943	2,2113	2,2286	2,2460	24
66	2,2460	2,2637	2,2817	2,2998	2,3183	2,3369	2,3559	23
67	2,3559	2,3750	2,3945	2,4142	2,4342	2,4545	2,4751	22
68	2,4751	2,4960	2,5172	2,5387	2,5605	2,5826	2,6051	21
69	2,6051	2,6279	2,6511	2,6746	2,6985	2,7228	2,7475	20
70	2,7475	2,7725	2,7980	2,8239	2,8502	2,8770	2,9042	19
71	2,9042	2,9319	2,9600	2,9887	3,0178	3,0475	3,0777	18
72	3,0777	3,1084	3,1397	3,1716	3,2041	3,2371	3,2709	17
73	3,2709	3,3052	3,3402	3,3759	3,4124	3,4495	3,4874	16
74	3,4874	3,5261	3,5656	3,6059	3,6471	3,6891	3,7321	15
75	3,7321	3,7760	3,8208	3,8667	3,9136	3,9617	4,0108	14
76	4,0108	4,0611	4,1126	4,1653	4,2193	4,2747	4,3315	13
77	4,3315	4,3897	4,4494	4,5107	4,5736	4,6383	4,7046	12
78	4,7046	4,7729	4,8430	4,9152	4,9894	5,0658	5,1446	11
79	5,1446	5,2257	5,3093	5,3955	5,4845	5,5764	5,6713	10
80	5,6713	5,7694	5,8708	5,9758	6,0844	6,1970	6,3138	9
81	6,3138	6,4348	6,5606	6,6912	6,8269	6,9682	7,1154	8
82	7,1154	7,2687	7,4287	7,5958	7,7704	7,9530	8,1444	7
83	8,1444	8,3450	8,5556	8,7769	9,0098	9,2553	9,5144	6
84	9,5144	9,7882	10,0780	10,3854	10,7119	11,0594	11,4301	5
85	11,4301	11,8262	12,2505	12,7062	13,1969	13,7267	14,3007	4
86	14,3007	14,9244	15,6048	16,3499	17,1693	18,0750	19,0811	3
87	19,0811	20,2056	21,4704	22,9038	24,5418	26,4316	28,6363	2
88	28,6363	31,2416	34,3678	38,1885	42,9641	49,1039	57,2900	1
89	57,2900	68,7501	85,9398	114,5887	171,8854	343,7737		0
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Degrés
				Minutes				

COTANGENTE 0° à 45°

LECTURE DIRECTE	CONVERSION	LECTURE DIRECTE
tg 23°40' = 0,4383	Pente en % ⟷ Angle en degrés	cotg 39°10' = 1,2276
A retenir	Pente = tg ∝ × 100	A retenir
tg 30° = 0,5773		cotg 30° = 1,7320
tg 45° = 1,0000	Exemple :	cotg 45° = 1,0000
tg 60° = 1,7320	∝ = 6° Pente = tg 6° × 100 = 10,51 %	cotg 60° = 0,5773

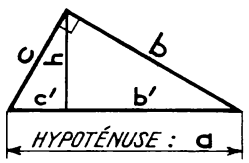
Doc 19 — TRIANGLE RECTANGLE

RELATIONS MÉTRIQUES

$a^2 = b^2 + c^2$

$b^2 = a^2 - c^2$

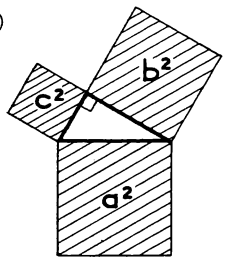
$c^2 = a^2 - b^2$

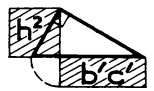


$b^2 = a\,b'$

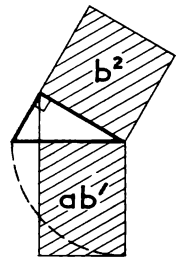
$c^2 = a\,c'$

$h = \frac{b\,c}{a}$

① 

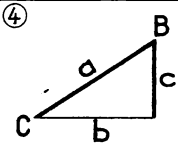
② 

$h^2 = b'c'$

③ 

Exemple : $b = 12$, $c = 15$	*Exemple :* $b' = 14$, $c' = 5$	*Exemple :* $b' = 6$, $c' = 10$
$a^2 = 12^2 + 15^2 = 369$	$h^2 = 14 \times 5 = 70$	$b^2 = 16 \times 6 = 96$; $b = \sqrt{96}$
$a = \sqrt{369} = 19{,}21$	$h = \sqrt{70} = 8{,}37$	$c^2 = 16 \times 10 = 160$; $c = \sqrt{160}$

RELATIONS TRIGONOMÉTRIQUES

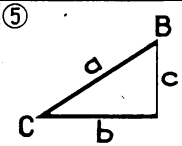
④ 

On connaît a *et* c

$\sin \hat{C} = c : a$

$\cos \hat{B} = c : a$

$b = c \operatorname{tg} \hat{B}$

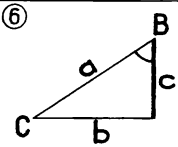
⑤ 

On connaît a *et* b

$\sin \hat{B} = b : a$

$\cos \hat{C} = b : a$

$c = b \operatorname{tg} \hat{C}$

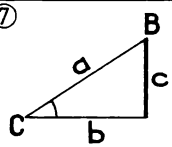
⑥ 

On connaît c *et* $\hat{B}$

$\hat{C} = 90^0 - \hat{B}$

$a = c : \cos \hat{B}$

$b = c \operatorname{tg} \hat{B}$

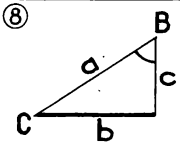
⑦ 

On connaît c *et* $\hat{C}$

$\hat{B} = 90^0 - \hat{C}$

$a = c : \sin \hat{C}$

$b = c \operatorname{cotg} \hat{C}$

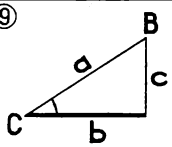
⑧ 

On connaît b *et* $\hat{B}$

$\hat{C} = 90^0 - \hat{B}$

$a = b : \sin \hat{B}$

$c = b \operatorname{cotg} \hat{B}$

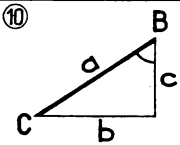
⑨ 

On connaît b *et* $\hat{C}$

$\hat{B} = 90^0 - \hat{C}$

$a = b : \cos \hat{C}$

$c = b \operatorname{tg} \hat{C}$

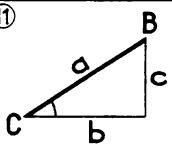
⑩ 

On connaît a *et* $\hat{B}$

$\hat{C} = 90^0 - \hat{B}$

$b = a \sin \hat{B}$

$c = a \cos \hat{B}$

⑪ 

On connaît a *et* $\hat{C}$

$\hat{B} = 90^0 - \hat{C}$

$b = a \cos \hat{C}$

$c = a \sin \hat{C}$

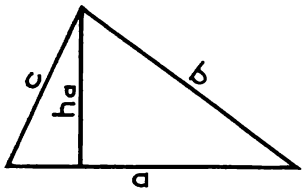
Les valeurs de SIN, COS, TG, COTG sont lues dans les tables (Doc 15,16,17,18)

TRIANGLE QUELCONQUE

Doc 20

RELATIONS MÉTRIQUES

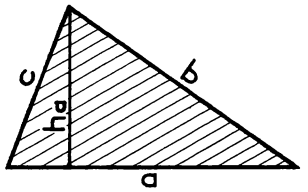
① HAUTEUR (h)



$$h_a = \frac{2}{a}\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

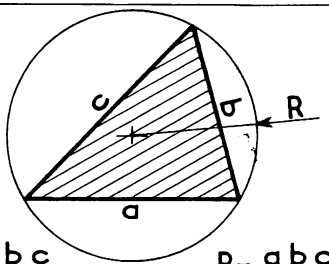
p ou $\frac{1}{2}$ *périmètre* $= (a+b+c) : 2$

② SURFACE (S)



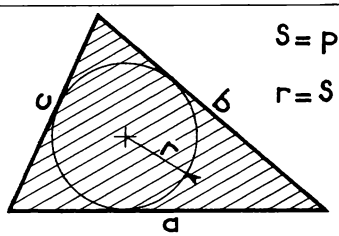
$$S = \frac{a\ h_a}{2}$$

③ CERCLE CIRCONSCRIT



$$S = \frac{a\,b\,c}{4R} \qquad R = \frac{a\,b\,c}{4S}$$

④ CERCLE INSCRIT



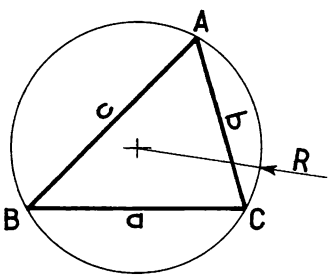
$S = p\,r$

$r = S : p$

p ou $\frac{1}{2}$ *périmètre* $= (a+b+c) : 2$

RELATIONS TRIGONOMÉTRIQUES

⑤



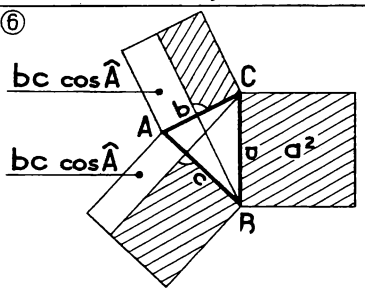
$$\frac{a}{\sin\hat{A}} = \frac{b}{\sin\hat{B}} = \frac{c}{\sin\hat{C}} = 2R$$

$$a = 2R\sin\hat{A} \qquad \sin\hat{A} = a : 2R$$

$$b = 2R\sin\hat{B} \qquad \sin\hat{B} = b : 2R$$

$$c = 2R\sin\hat{C} \qquad \sin\hat{C} = c : 2R$$

⑥



$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos\hat{A}$$

Si $\hat{A} > 90^\circ$

son supplément $\alpha = 180^\circ - \hat{A}$;

donc $\alpha < 90^\circ$ *et* $\cos\hat{A} = -\cos\alpha$

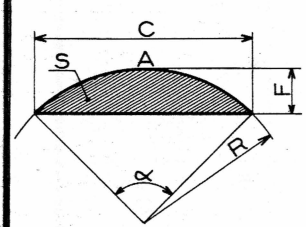
$$a^2 = b^2 + c^2 + 2bc\cos\alpha$$

Les valeurs de SIN, COS, TG, COTG sont lues dans les tables (Doc 15,16,17,18)

Doc 21 — ARC, CORDE, FLÈCHE, SEGMENT

RAYON = 1 — α = 1° à 90°

α	N	A	C	F	S	α	N	A	C	F	S
1	360	0,017 5	0,017 5	0,000 04	0,000 00	46		0,802 9	0,781 5	0,079 50	0,041 76
2	180	0,034 9	0,034 9	0,000 15	0,000 00	47		0,820 3	0,797 5	0,082 94	0,044 48
3	120	0,052 4	0,052 4	0,000 34	0,000 01	48		0,837 8	0,813 5	0,086 45	0,047 31
4	90	0,069 8	0,069 8	0,000 61	0,000 03	49		0,855 2	0,829 4	0,090 04	0,050 25
5	72	0,087 3	0,087 2	0,000 95	0,000 06	50		0,872 7	0,845 2	0,093 69	0,053 31
6	60	0,104 7	0,104 7	0,001 37	0,000 10	51		0,890 1	0,861 0	0,097 41	0,056 49
7		0,122 2	0,122 1	0,001 87	0,000 15	52		0,907 6	0,876 7	0,101 21	0,059 78
8	45	0,139 6	0,139 5	0,002 44	0,000 23	53		0,925 0	0,892 4	0,105 07	0,063 19
9	40	0,157 1	0,156 9	0,003 08	0,000 32	54		0,942 5	0,908 0	0,108 99	0,066 73
10	36	0,174 5	0,174 3	0,003 81	0,000 44	55		0,959 9	0,923 5	0,112 99	0,070 39
11		0,192 0	0,191 7	0,004 60	0,000 59	56		0,977 4	0,938 9	0,117 05	0,074 17
12	30	0,209 4	0,209 1	0,005 48	0,000 76	57		0,994 8	0,954 3	0,121 18	0,078 08
13		0,226 9	0,226 4	0,006 43	0,000 97	58		1,012 3	0,969 6	0,125 38	0,082 12
14		0,244 3	0,243 7	0,007 45	0,001 21	59		1,029 7	0,984 8	0,129 64	0,086 29
15	24	0,261 8	0,261 1	0,008 56	0,001 49	60	6	1,047 2	1,000 0	0,133 97	0,090 59
16		0,279 3	0,278 3	0,009 73	0,001 81	61		1,064 7	1,015 1	0,138 37	0,095 02
17		0,296 7	0,295 6	0,010 98	0,002 17	62		1,082 1	1,030 1	0,142 83	0,099 58
18	20	0,314 2	0,312 9	0,012 31	0,002 57	63		1,099 6	1,045 0	0,147 36	0,104 28
19		0,331 6	0,330 1	0,013 71	0,003 02	64		1,117 0	1,059 8	0,151 95	0,109 11
20	18	0,349 1	0,347 3	0,015 19	0,003 52	65		1,134 5	1,074 6	0,156 61	0,114 08
21		0,366 5	0,364 5	0,016 75	0,004 08	66		1,151 9	1,089 3	0,161 33	0,119 19
22		0,384 0	0,381 6	0,018 37	0,004 68	67		1,169 4	1,103 9	0,166 11	0,124 43
23		0,401 4	0,398 7	0,020 08	0,005 35	68		1,186 8	1,118 4	0,170 96	0,129 82
24	15	0,418 9	0,415 8	0,021 85	0,006 07	69		1,204 3	1,132 8	0,175 87	0,135 35
25		0,436 3	0,432 9	0,023 70	0,006 86	70		1,221 7	1,147 2	0,180 85	0,141 02
26		0,453 8	0,449 9	0,025 63	0,007 71	71		1,239 2	1,161 4	0,185 88	0,146 83
27		0,471 2	0,466 9	0,027 63	0,008 62	72	5	1,256 6	1,175 6	0,190 98	0,152 79
28		0,488 7	0,483 8	0,029 69	0,009 61	73		1,274 1	1,189 6	0,196 14	0,158 89
29		0,506 1	0,500 8	0,031 85	0,010 67	74		1,291 5	1,203 6	0,201 36	0,165 14
30	12	0,523 6	0,517 6	0,034 07	0,011 80	75		1,309 0	1,217 5	0,206 65	0,171 54
31		0,541 1	0,534 5	0,036 37	0,013 01	76		1,326 5	1,231 3	0,211 99	0,178 08
32		0,558 5	0,551 2	0,038 74	0,014 29	77		1,343 9	1,245 0	0,217 39	0,184 77
33		0,576 0	0,568 0	0,041 18	0,015 66	78		1,361 4	1,258 6	0,222 85	0,191 60
34		0,593 4	0,584 7	0,043 70	0,017 11	79		1,378 8	1,272 2	0,228 38	0,198 59
35		0,610 9	0,601 4	0,046 28	0,018 64	80		1,396 3	1,285 6	0,233 96	0,205 73
36	10	0,628 3	0,618 0	0,048 94	0,020 27	81		1,413 7	1,298 9	0,239 59	0,213 01
37		0,645 8	0,634 6	0,051 68	0,021 98	82		1,431 2	1,312 1	0,245 29	0,220 45
38		0,663 2	0,651 1	0,054 48	0,023 78	83		1,448 6	1,325 2	0,251 04	0,228 04
39		0,680 7	0,667 6	0,057 36	0,025 68	84		1,466 1	1,338 3	0,256 86	0,235 78
40	9	0,698 1	0,684 0	0,060 31	0,027 67	85		1,483 5	1,351 2	0,262 72	0,243 67
41		0,715 6	0,700 4	0,063 33	0,029 76	86		1,501 0	1,364 0	0,268 65	0,251 71
42		0,733 0	0,716 7	0,066 42	0,031 95	87		1,518 4	1,376 7	0,274 63	0,259 90
43		0,750 5	0,733 0	0,069 58	0,034 25	88		1,535 9	1,389 3	0,280 66	0,268 25
44		0,767 9	0,749 2	0,072 81	0,036 64	89		1,553 3	1,401 8	0,286 75	0,276 75
45	8	0,785 4	0,765 4	0,076 12	0,039 15	90	4	1,570 8	1,414 2	0,292 89	0,285 40



α = Angle

R = Rayon

A = Arc

C = Corde

F = Flèche

S = Segment

RELATIONS

Corde $C = 2R \sin \frac{\alpha}{2}$

ou $C = 2\sqrt{2RF - F^2}$

Flèche $F = R\left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)$

ou $F = R - \sqrt{R^2 - \frac{C^2}{4}}$

Arc A: $A = \frac{\pi R \alpha}{190}$

Rayon R: $R = \frac{C^2}{8F} + \frac{F}{2}$

ARC, CORDE, FLÈCHE, SEGMENT

RAYON = 1 — α = 91° à 180°

Doc 22

α	N	A	C	F	S
91		1,588 2	1,426 5	0,299 09	0,294 20
92		1,605 7	1,438 7	0,305 34	0,303 16
93		1,623 2	1,450 7	0,311 65	0,312 26
94		1,640 6	1,462 7	0,318 00	0,321 52
95		1,658 0	1,474 6	0,324 41	0,330 93
96		1,675 5	1,486 3	0,330 87	0,340 50
97		1,693 0	1,497 9	0,337 38	0,350 21
98		1,710 4	1,509 4	0,343 94	0,360 08
99		1,727 9	1,520 8	0,350 55	0,370 09
100		1,745 3	1,532 1	0,357 21	0,380 26
101		1,762 8	1,543 2	0,363 92	0,390 58
102		1,780 2	1,554 3	0,370 68	0,401 04
103		1,797 7	1,565 2	0,377 49	0,411 66
104		1,815 1	1,576 0	0,384 34	0,422 42
105		1,832 6	1,586 7	0,391 24	0,433 34
106		1,850 0	1,597 3	0,398 18	0,444 39
107		1,867 5	1,607 7	0,405 18	0,455 60
108		1,885 0	1,618 0	0,412 21	0,466 95
109		1,902 4	1,628 2	0,419 30	0,478 44
110		1,919 9	1,638 3	0,426 42	0,490 08
111		1,937 3	1,648 3	0,433 59	0,501 87
112		1,954 8	1,658 1	0,440 81	0,513 79
113		1,972 2	1,667 8	0,448 06	0,525 86
114		1,989 7	1,677 3	0,455 36	0,538 07
115		2,007 1	1,686 8	0,462 70	0,550 41
116		2,024 6	1,696 1	0,470 08	0,562 89
117		2,042 0	1,705 3	0,477 50	0,575 51
118		2,059 5	1,714 3	0,484 96	0,588 27
119		2,076 9	1,723 3	0,492 46	0,601 16
120	3	2,094 4	1,732 1	0,500 00	0,614 18
121		2,111 8	1,740 7	0,507 58	0,627 34
122		2,129 3	1,749 2	0,515 19	0,640 63
123		2,146 8	1,757 6	0,522 84	0,654 04
124		2,164 2	1,765 9	0,530 53	0,667 59
125		2,181 7	1,774 0	0,538 25	0,681 25
126		2,199 1	1,782 0	0,546 01	0,695 05
127		2,216 6	1,789 9	0,553 80	0,708 97
128		2,234 0	1,797 6	0,561 63	0,723 01
129		2,251 5	1,805 2	0,569 49	0,737 16
130		2,268 9	1,812 6	0,577 38	0,751 44
131		2,286 4	1,819 9	0,585 31	0,765 84
132		2,303 8	1,827 1	0,593 26	0,780 34
133		2,321 3	1,834 1	0,601 25	0,794 97
134		2,338 7	1,841 0	0,609 27	0,809 70
135		2,356 2	1,847 8	0,617 32	0,824 54

α	N	A	C	F	S
136		2,373 6	1,854 4	0,625 39	0,839 49
137		2,391 1	1,860 8	0,633 50	0,854 55
138		2,408 6	1,867 2	0,641 63	0,869 71
139		2,426 0	1,873 3	0,649 79	0,884 97
140		2,443 5	1,879 4	0,657 98	0,900 34
141		2,460 9	1,885 3	0,666 19	0,915 80
142		2,478 4	1,891 0	0,674 43	0,931 35
143		2,495 8	1,896 6	0,682 70	0,947 00
144		2,513 3	1,902 1	0,690 98	0,962 74
145		2,530 7	1,907 4	0,699 29	0,978 58
146		2,548 2	1,912 6	0,707 63	0,994 49
147		2,565 6	1,917 6	0,715 98	1,010 50
148		2,583 1	1,922 5	0,724 36	1,026 58
149		2,600 5	1,927 3	0,732 76	1,042 75
150		2,618 0	1,931 9	0,741 18	1,059 00
151		2,635 4	1,936 3	0,749 62	1,075 32
152		2,652 9	1,940 6	0,758 08	1,091 71
153		2,670 4	1,944 7	0,766 55	1,108 18
154		2,687 8	1,948 7	0,775 05	1,124 72
155		2,705 3	1,952 6	0,783 56	1,141 32
156		2,722 7	1,956 3	0,792 09	1,157 99
157		2,740 2	1,959 8	0,800 63	1,174 72
158		2,757 6	1,963 2	0,809 19	1,191 51
159		2,775 1	1,966 5	0,817 76	1,208 35
160		2,792 5	1,969 6	0,826 35	1,225 25
161		2,810 0	1,972 6	0,834 95	1,242 21
162		2,827 4	1,975 4	0,843 57	1,259 21
163		2,844 9	1,978 0	0,852 19	1,276 26
164		2,862 3	1,980 5	0,860 83	1,293 35
165		2,879 8	1,982 9	0,869 47	1,310 49
166		2,897 2	1,985 1	0,878 13	1,327 66
167		2,914 7	1,987 1	0,886 80	1,344 87
168		2,932 2	1,989 0	0,895 47	1,362 12
169		2,949 6	1,990 8	0,904 15	1,379 40
170		2,967 1	1,992 4	0,912 84	1,396 71
171		2,984 5	1,993 8	0,921 54	1,414 04
172		3,002 0	1,995 1	0,930 24	1,431 40
173		3,019 4	1,996 3	0,938 95	1,448 78
174		3,036 9	1,997 3	0,947 66	1,466 17
175		3,054 3	1,998 1	0,956 38	1,483 59
176		3,071 8	1,998 8	0,965 10	1,501 01
177		3,089 2	1,999 3	0,973 82	1,518 45
178		3,106 7	1,999 7	0,982 55	1,535 89
179		3,124 1	1,999 9	0,991 27	1,553 34
180		3,141 6	2,000 0	1,000 00	1,570 80

NOMBRE DE CÔTÉS (N) DU POLYGONE RÉGULIER

UTILISATION DE LA TABLE : Exemple α = 45°

Lecture sur table	En fonction de R	Application : R = 20 mm
A = 0,785 4	Arc = A . R	Arc ≈ 0,785 4 × 20 = 15,708 mm
C = 0,765 4	Corde = C . R	Corde ≈ 0,765 4 × 20 = 15,308 mm
F = 0,076 12	Flèche = F . R	Flèche ≈ 0,076 12 × 20 = 1,522 mm
S = 0,039 15	Segment = S . R^2	Segment ≈ 0,039 15 × 20^2 = 15,66 mm^2

Doc 23

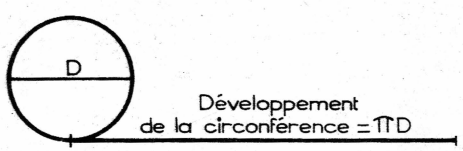
CIRCONFÉRENCE

TTD

D	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.	0	3,142	6,283	9,425	12,566	15,708	18,850	21,991	25.133	28,274
1.	31,416	34,558	37,699	40,841	43,982	47,124	50,265	53,407	56,549	59,690
2.	62,832	65,973	69,115	72,257	75,398	78,540	81,681	84,823	87,965	91,106
3.	94,248	97,389	100,531	103,673	106,814	109,956	113,097	116,239	119,381	122,522
4.	125,664	128,806	131,947	135,089	138,230	141,370	144,514	147,655	150,797	153,938
5.	157,08	160,22	163,36	166,50	169,65	172,79	175,93	179,07	182,21	185,35
6.	188,50	191,64	194,78	197,92	201,06	204,20	207,35	210,49	213,63	216,77
7.	219,91	223,05	226,19	229,34	232,48	235,62	238,76	241,90	245,04	248,19
8.	251,33	254,47	257,61	260,75	263,89	267,04	270,18	273,32	276,46	279,60
9.	282,74	285,88	289,03	292,17	295,31	298,45	301,59	304,73	307,88	311,02
10.	314,16	317,30	320,44	323,58	326,73	329,87	333,01	336,15	339,29	342,43
11.	345,58	348,72	351,86	355,00	358,14	361,28	364,42	367,57	370,71	373,85
12.	376,99	380,13	383,27	386,42	389,56	392,70	395,84	398,98	402,12	405,27
13.	408,41	411,55	414,69	417,83	420,97	424,12	427,26	430,40	433,54	436,68
14.	439,82	442,96	446,11	449,25	452,39	455,53	458,67	461,81	464,96	468,10
15.	471,24	474,38	477,52	480,66	483,81	486,95	490,09	493,23	496,37	499,51
16.	502,65	505,80	508,94	512,08	515,22	518,36	521,50	524,65	527,79	530,93
17.	534,07	537,21	540,35	543,50	546,64	549,78	552,92	556,06	559,20	562,35
18.	565,49	568,63	571,77	574,91	578,05	581,19	584,34	587,48	590,62	593,76
19.	596,90	600,04	603,19	606,33	609,47	612,61	615,75	618,89	622,04	625,18
20.	628,32	631,46	634,60	637,74	640,88	644,03	647,17	650,31	653,45	656,59
21.	659,73	662,88	666,02	669,16	672,30	675,44	678,58	681,73	684,87	688,01
22.	691,15	694,29	697,43	700,58	703,72	706,86	710,00	713,14	716,28	719,42
23.	722,57	725,71	728,85	731,99	735,13	738,27	741,42	744,56	747,70	750,84
24.	753,98	757,12	760,27	763,41	766,55	769,69	772,83	775,97	779,11	782,26
25.	785,40	788,54	791,68	794,82	797,96	801,11	804,25	807,39	810,53	813,67
26.	816,81	819,96	823,10	826,24	829,38	832,52	835,66	838,81	841,95	845,09
27.	848,23	851,37	854,51	857,65	860,80	863,94	867,08	870,22	873,36	876,50
28.	879,65	882,79	885,93	889,07	892,21	895,35	898,50	901,64	904,78	907,92
29.	911,06	914,20	917,35	920,49	923,63	926,77	929,91	933,05	936,19	939,34

Exemple: Longueur de la circonférence de diamètre 142 mm
lire : 446,11 mm

Exemple: Diamètre de la circonférence de longueur 860 mm
lire: 274 mm, environ



$$\Pi = \frac{\text{CIRCONFÉRENCE}}{\text{DIAMÈTRE}}$$

$$\Pi = 3,14159\ldots$$

LONGUEUR DES ARCS DE RAYON = 1

°	VALEURS	′	VALEURS	″	VALEURS
1	0,0175	1	0,000 291	1	0,000 005
2	0,0349	2	0,000 582	2	0,000 010
3	0,0524	3	0,000 873	3	0,000 015
4	0,0698	4	0,001 164	4	0,000 019
5	0,0873	5	0,001 454	5	0,000 024
6	0,1047	6	0,001 745	6	0,000 029
7	0,1222	7	0,002 036	7	0,000 034
8	0,1396	8	0,002 327	8	0,000 039
9	0,1571	9	0,002 618	9	0,000 044
		10	0,002 909	10	0,000 048
		20	0,005 818	20	0,000 097
		30	0,008 727	30	0,000 145
		40	0,011 636	40	0,000 190
		50	0,014 544	50	0,000 242

APPLICATION

La longueur d'un arc de 62° 34′ 15″ s'obtient :

62°	= 1,082 1
30′	= 0,008 727
4′	= 0,001 164
10″	= 0,000 048
5″	= 0,000 024
62° 34′ 15″	= 1,092 063
	l ≃ 1,092

Les longueurs des arcs de ° en ° sont données sur Doc 21 et 22

CERCLE

Doc 24

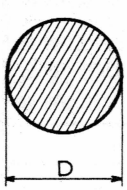
D	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.	0	0,79	3,14	7,07	12,57	19,64	28,27	38,48	50,27	63,62
1.	78,54	95,03	113,10	132,73	153,94	176,72	201,06	226,98	254,47	283,53
2.	314,16	346,36	380,13	415,48	452,39	490,87	530,93	572,56	615,75	660,52
3.	706,86	754,77	804,25	855,30	907,92	962,11	1 017,88	1 075,21	1 134,11	1 194,59
4.	1 256,64	1 320,25	1 385,44	1 452,20	1 520,53	1 590,43	1 661,90	1 734,94	1 809,56	1 885,74
5.	1 963,50	2 042,82	2 123,72	2 206,18	2 290,22	2 375,83	2 463,01	2 551,76	2 642,08	2 733,97
6.	2 827,43	2 922,47	3 019,07	3 117,25	3 216,99	3 318,31	3 421,19	3 525,65	3 631,68	3 739,28
7.	3 848,45	3 959,19	4 071,50	4 185,39	4 300,84	4 417,86	4 536,46	4 656,63	4 778,36	4 901,67
8.	5 026,55	5 153,00	5 281,02	5 410,61	5 541,77	5 674,50	5 808,80	5 944,68	6 082,12	6 221,14
9.	6 361,73	6 503,88	6 647,61	6 792,91	6 939,78	7 088,22	7 238,23	7 389,81	7 542,96	7 697,69
10.	7 854,0	8 011,9	8 171,3	8 332,3	8 494,9	8 659,0	8 824,7	8 992,0	9 160,9	9 331,3
11.	9 503,3	9 676,9	9 852,0	10 028,7	10 207,0	10 386,9	10 568,3	10 751,3	10 935,9	11 122,0
12.	11 309,7	11 499,0	11 689,9	11 882,3	12 076,3	12 271,8	12 469,0	12 667,7	12 868,0	13 069,8
13.	13 273,2	13 478,2	13 684,8	13 892,9	14 102,6	14 313,9	14 526,7	14 741,1	14 957,1	15 174,7
14.	15 393,8	15 614,5	15 836,8	16 060,6	16 286,0	16 513,0	16 741,5	16 971,7	17 203,4	17 436,6
15.	17 671,5	17 907,9	18 145,8	18 385,4	18 626,5	18 869,2	19 113,4	19 359,3	19 606,7	19 855,7
16.	20 106,2	20 358,3	20 612,0	20 867,2	21 124,1	21 382,5	21 642,4	21 904,0	22 167,1	22 431,8
17.	22 698,0	22 965,8	23 235,2	23 506,2	23 778,7	24 052,8	24 328,5	24 605,7	24 884,6	25 164,9
18.	25 446,9	25 730,4	26 015,5	26 302,2	26 590,4	26 880,3	27 171,6	27 464,6	27 759,1	28 055,2
19.	28 352,9	28 652,1	28 952,9	29 255,3	29 559,2	29 864,8	30 171,9	30 480,5	30 790,7	31 102,6
20.	31 415,9	31 730,9	32 047,4	32 365,5	32 685,1	33 006,4	33 329,2	33 653,5	33 979,5	34 307,0
21.	34 636,1	34 966,7	35 298,9	35 632,7	35 968,1	36 305,0	36 643,5	36 983,6	37 325,3	37 668,5
22.	38 013,3	38 359,6	38 707,6	39 057,1	39 408,1	39 760,8	40 115,0	40 470,8	40 828,1	41 187,1
23.	41 547,6	41 909,6	42 273,3	42 638,5	43 005,3	43 373,6	43 743,5	44 115,0	44 488,1	44 862,7
24.	45 238,9	45 616,7	45 996,1	46 377,0	46 759,5	47 143,5	47 529,2	47 916,4	48 305,1	48 695,5
25.	49 087,4	49 480,9	49 875,9	50 272,6	50 670,7	51 070,5	51 471,9	51 874,8	52 279,2	52 685,3
26.	53 092,9	53 502,1	53 912,9	54 325,2	54 739,1	55 154,6	55 571,6	55 990,2	56 410,4	56 832,2
27.	57 255,5	57 680,4	58 106,9	58 534,9	58 964,6	59 395,7	59 828,5	60 262,8	60 698,7	61 136,2
28.	61 575,2	62 015,8	62 458,0	62 901,8	63 347,1	63 794,0	64 242,4	64 692,5	65 144,1	65 597,2
29.	66 052,0	66 508,3	66 966,2	67 425,6	67 886,7	68 349,3	68 813,4	69 279,2	69 746,5	70 215,4

Exemple: Surface d'un cercle de diamètre 28 mm
lire: 615,75 mm²

Exemple: Diamètre d'un cercle de surface 531 mm²
lire: 26 mm environ

SURFACES CIRCULAIRES

① CERCLE

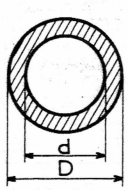


$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ex: D = 50 mm

S = 1963,50 mm²

② COURONNE

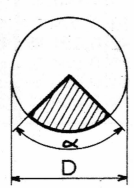


$$S = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4}$$

Ex: D = 40 mm
d = 30 mm

S = 549,50 mm²

③ SECTEUR

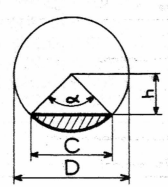


$$S = \frac{\pi D^2 \alpha}{4 \times 360}$$

Ex: D = 25 mm
α = 100°

S = 136,28 mm²

④ SEGMENT



$$S = \text{⌓} - \triangle$$

$$S = \frac{\pi D^2 \alpha}{4 \times 360} - \frac{C\,h}{2}$$

Ex: D = 40 mm
α = 90°

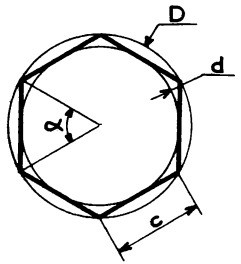
S = 114,16 mm²

Les surfaces des segments de ° en ° sont données sur Doc 21 et 22

Doc 25

SURFACES PLANES

① POLYGONES RÉGULIERS



	3 TRIANGLE	4 CARRÉ	5 PENTAGONE	6 HEXAGONE	8 OCTOGONE	10 DÉCAGONE	12 DODÉCAGONE
N	3	4	5	6	8	10	12
α	120°	90°	72°	60°	45°	36°	30°

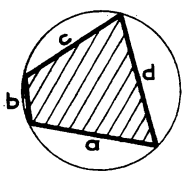
c = *longueur du côté*
d = *diamètre Φ inscrit*
S = *surface du polygone*

VALEURS POUR D=1

c	0,866	0,707	0,588	0,500	0,383	0,309	0,259
d	0,500	0,707	0,811	0,866	0,923	0,952	0,967
S	0,325	0,500	0,596	0,650	0,707	0,735	0,750

SURFACES USUELLES

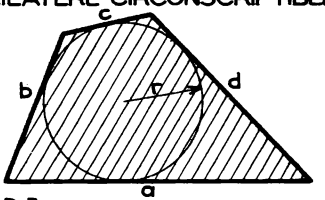
② QUADRILATÈRE INSCRIPTIBLE



$S = \sqrt{(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}$

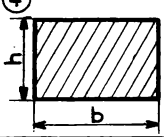
$p = \frac{a+b+c+d}{2}$

③ QUADRILATÈRE CIRCONSCRIPTIBLE



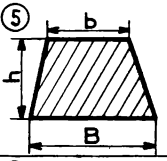
$S = p \cdot r$

④ RECTANGLE



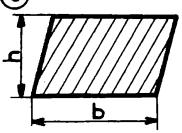
$S = b \cdot h$

⑤ TRAPÈZE



$S = \frac{B+b}{2} \cdot h$

⑥ PARALLÉLOGRAMME

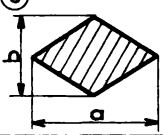


$S = b \cdot h$

⑦ POLYGONE QUELCONQUE

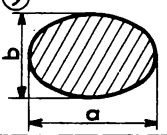
$S = s_1 + s_2 + s_3 + s_4$

⑧ LOSANGE



$S = \frac{a \cdot b}{2}$

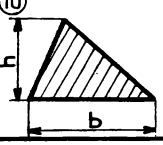
⑨ ELLIPSE



$S = \frac{\pi \cdot a \cdot b}{4}$

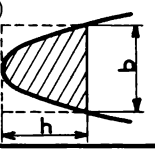
$S = 0{,}785 \cdot a \cdot b$

⑩ TRIANGLE



$S = \frac{b \cdot h}{2}$

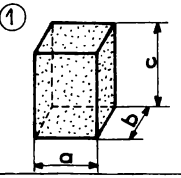
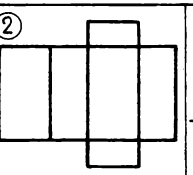
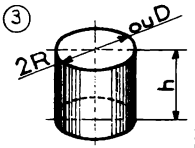
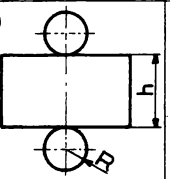
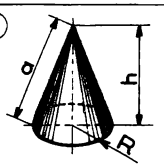
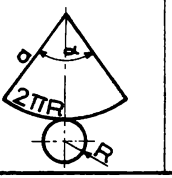
⑪ SEGMENT PARABOLIQUE

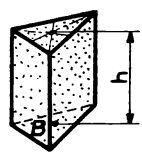
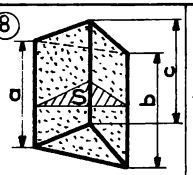
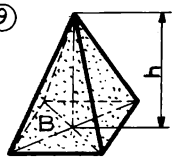
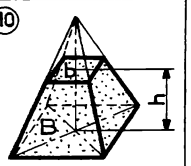
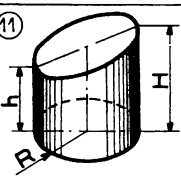
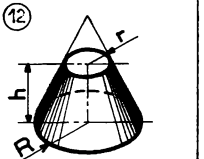
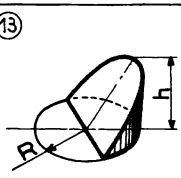
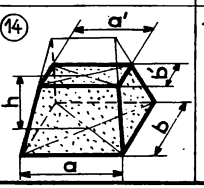


$S = \frac{2}{3}(b \cdot h)$

SOLIDES
À SURFACE DÉVELOPPABLE

Doc 26

VOLUMES		SURFACES	
① 	PARALLÉLÉPIPÈDE RECTANGLE $V = a.b.c$ CUBE : $a=b=c$ $V = a^3$	② 	*Développement* $S = 2(ab+bc+ca)$ Pour le CUBE $S = 6a^2$
③ 	CYLINDRE $V = \pi R^2 h$ ou $V = \frac{\pi D^2 h}{4}$	④ 	*Développement* $S_{latérale} = 2\pi R h$ (Sl) $S_{totale} = 2\pi R(R+h)$ (St)
⑤ 	CÔNE $V = \frac{1}{3}\pi R^2 h$	⑥ 	*Développement* $\alpha = \frac{360° \times R}{a}$ $Sl = \pi R a$ $St = \pi R a + \pi R^2$ $= \pi R(R+a)$

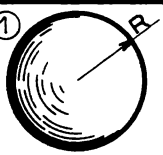
VOLUMES			
⑦ 	PRISME $V = B.h$	⑧ 	TRONC DE PRISME TRIANGULAIRE $V = S \times \frac{a+b+c}{3}$ S (*section droite*)
⑨ 	PYRAMIDE $V = \frac{B.h}{3}$	⑩ 	TRONC DE PYRAMIDE $V = \frac{h}{3}(B+b+\sqrt{Bb})$
⑪ 	CYLINDRE TRONQUÉ $V = \pi R^2\left(\frac{H+h}{2}\right)$	⑫ 	TRONC DE CÔNE $V = \frac{\pi h}{3}(R^2+r^2+Rr)$
⑬ 	ONGLET CYLINDRIQUE $V = \frac{2}{3}R^2 h$	⑭ 	TAS DE CAILLOUX $V = \frac{h}{6}[b(2a+a')+b'(2a'+a)]$

Doc 27

SOLIDES

À SURFACE NON DÉVELOPPABLE

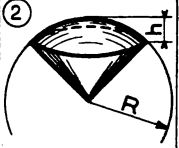
① SPHÈRE



$S = 4\pi R^2 = \pi D^2$

$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi D^3}{6}$

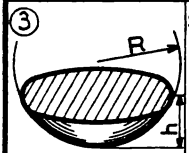
② SECTEUR SPHÉRIQUE



$S_{calotte} = 2\pi Rh$

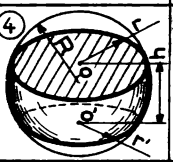
$V = \frac{2}{3}\pi R^2 h$

③ SEGMENT SPHÉRIQUE *à une base*



$V = \frac{\pi h^2}{3}(3R - h)$

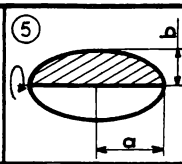
④ SEGMENT SPHÉRIQUE *à deux bases*



$S_{zone} = 2\pi Rh$

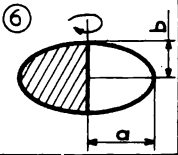
$V = \frac{\pi h^3}{6} + \frac{\pi h}{2}(r^2 + r'^2)$

⑤ ELLIPSOÏDE DE RÉVOLUTION *allongé*



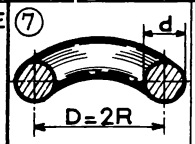
$V = \frac{4}{3}\pi a b^2$

⑥ ELLIPSOÏDE DE RÉVOLUTION *aplati*



$V = \frac{4}{3}\pi a^2 b$

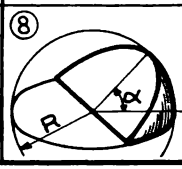
⑦ TORE



$S = \pi^2 Dd$

$V = \frac{\pi^2 Dd^2}{4}$

⑧ ONGLET SPHÉRIQUE



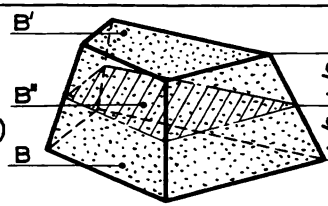
$S_{fuseau} = \frac{\pi R^2 \alpha}{90}$

$V_{onglet} = \frac{\pi R^3 \alpha}{270}$

⑨ FORMULE DES 3 NIVEAUX

$B // B' // B''$

$V = \frac{h}{6}(B + B' + 4B'')$

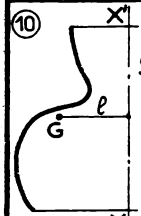


APPLICATIONS:

- *tronc de pyramide*
- *tronc de cône*
- *segment sphérique*
- *tas de sable*

1er THEORÈME DE GULDIN

⑩



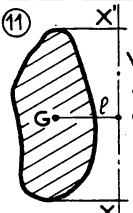
G: *centre de gravité de la ligne*

S: *Surface engendrée par une ligne qui tourne autour d'un axe XX' (de son plan) ne coupant pas la ligne.*

$S = \text{longueur ligne} \times 2\pi\ell$

2ème THEORÈME DE GULDIN

⑪



G: *centre de gravité de la surface*

V: *Volume engendré par une surface qui tourne autour d'un axe XX' (de son plan) ne coupant pas la surface.*

$V = \text{Surface} \times 2\pi\ell$

⑫ APPLICATION: *centre de gravité de la demi-circonférence:*

$4\pi R^2 = \pi R \times 2\pi\ell$

$\ell = \frac{2R}{\pi} \approx 0{,}636R$

⑬ APPLICATION: *centre de gravité du demi-cercle:*

$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi R^2}{2} \times 2\pi\ell$

$\ell = \frac{4R}{3\pi} \approx 0{,}424R$

CENTRE DE GRAVITÉ

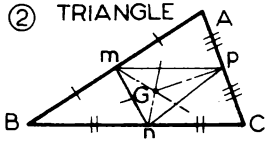
Doc 28

LIGNES

① SEGMENT DE DROITE

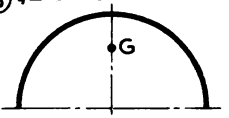
G: *milieu du segment*

② TRIANGLE



G: *point de concours des bissectrices de m n p*

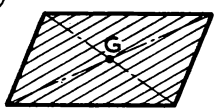
③ 1/2 CIRCONFÉRENCE



$OG = \frac{2R}{\pi} \approx 0{,}636R$

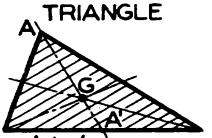
SURFACES

④ PARALLÉLOGRAMME



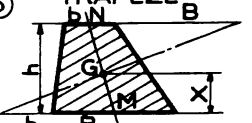
G: *point de rencontre des diagonales*

⑤ TRIANGLE



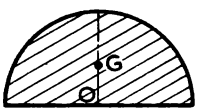
G: *point de concours des médianes* $AG = \frac{AA'}{3}$

⑥ TRAPÈZE



$X = \frac{h}{3} \cdot \frac{B+2b}{B+b}$

⑦ DEMI-CERCLE

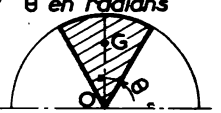


$OG = \frac{4R}{3\pi} \approx 0{,}424R$

⑧ SEGMENT θ *en radians*

$OG = \frac{2R}{3} \cdot \frac{\sin^3\theta}{\theta - \sin\theta\cos\theta}$

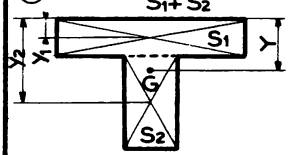
⑨ SECTEUR θ *en radians*



$OG = \frac{2R\sin\theta}{3\theta}$

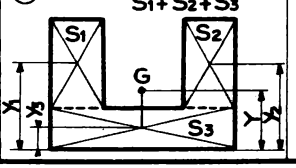
⑩

$Y = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2}{S_1 + S_2}$



⑪

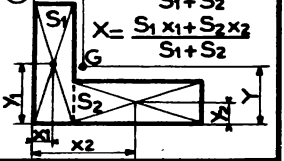
$Y = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2 + S_3 y_3}{S_1 + S_2 + S_3}$



⑫

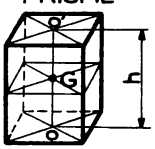
$Y = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2}{S_1 + S_2}$

$X = \frac{S_1 x_1 + S_2 x_2}{S_1 + S_2}$



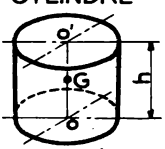
VOLUMES

⑬ PRISME



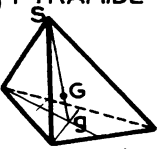
$OG = h/2$

⑭ CYLINDRE



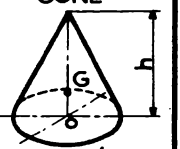
$OG = h/2$

⑮ PYRAMIDE



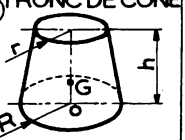
$gG = Sg/4$

⑯ CÔNE



$OG = h/4$

⑰ TRONC DE CÔNE

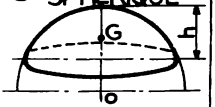


$OG = \frac{h}{4} \cdot \frac{R^2+2Rr+3r^2}{R^2+Rr+r^2}$

⑱ SECTEUR SPHÉRIQUE

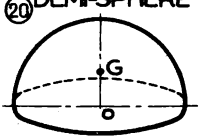
$OG = \frac{3R}{8}(1+\cos\theta)$

⑲ SEGMENT SPHÉRIQUE



$OG = \frac{3}{4} \cdot \frac{(2R-h)^2}{3R-h}$

⑳ DEMI-SPHÈRE

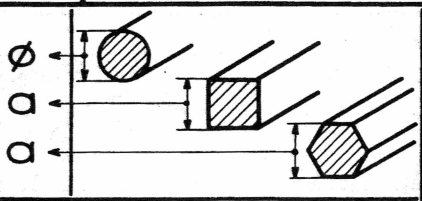


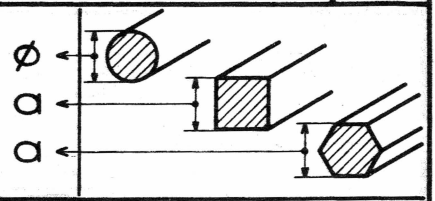
$OG = \frac{3R}{8}$

Doc 29

MASSE DES BARRES

EN kg PAR MÈTRE





ø	a	a	a	ø	a	a	a
5	0,154	0,196	0,170	42	10,9	13,8	12,0
6	0,222	0,283	0,245	44	11,9	15,2	13,2
7	0,302	0,385	0,333	46	13,0	16,6	14,4
8	0,395	0,502	0,435	48	14,2	18,1	15,7
9	0,499	0,636	0,551	50	15,4	19,6	17,0
10	0,617	0,785	0,680	52	16,7	21,2	18,4
11	0,746	0,950	0,823	54	18,0	22,9	19,8
12	0,888	1,130	0,979	56	19,3	24,6	21,3
13	1,04	1,33	1,15	58	20,7	26,4	22,9
14	1,21	1,54	1,31	60	22,2	28,3	24,5
15	1,39	1,77	1,53	65	26,0	33,2	28,7
16	1,58	2,01	1,74	70	30,2	38,5	33,3
17	1,78	2,27	1,96	75	34,7	44,2	38,2
18	2,00	2,54	2,20	80	39,5	50,2	43,5
19	2,23	2,83	2,45	85	44,5	56,7	49,1
20	2,47	3,14	2,72	90	49,9	63,6	55,1
21	2,72	3,46	3,00	95	55,6	70,8	61,4
22	2,98	3,80	3,29	100	61,7	78,5	68,0
23	3,26	4,15	3,60	105	68,0	86,5	
24	3,55	4,52	3,92	110	74,6	95,0	
25	3,85	4,91	4,25	115	81,5	104	
26	4,17	5,31	4,60	120	88,8	113	
27	4,50	5,72	4,96	125	96,3	123	
28	4,83	6,15	5,33	130	104	133	
29	5,19	6,60	5,72	135	112	143	
30	5,55	7,06	6,12	140	121	154	
31	5,92	7,54	6,53	145	130	165	
32	6,31	8,04	6,96	150	139	177	
33	6,71	8,55	7,40	160	158	201	
34	7,13	9,07	7,86	170	178	227	
35	7,55	9,62	8,33	180	200	254	
36	7,99	10,2	8,81	190	223	283	
37	8,44	10,8	9,31	200	247	314	
38	8,90	11,3	9,82	210	272	346	
39	9,38	11,9	10,34	220	298	380	
40	9,87	12,6	10,9	230	326	415	

MASSE DES TÔLES D'ACIER

1 m² de tôle de 1 mm vaut 7,85 kg

LIRE DIRECTEMENT LA MASSE DES BARRES EN ACIER ($\delta = 7{,}85$). POUR LES AUTRES MATÉRIAUX MULTIPLIER LA VALEUR LUE PAR

$$K = \frac{\text{densité du matériau}}{\text{densité de l'acier}}$$

QUELQUES VALEURS DE K

Acier	1	Etain	0,93
Aluminium	0,34	Plomb	1,45
Cuivre	1,13	Zinc	0,92

CARACTÉRISTIQUES

Doc 30

	NOMS	SYMBOLE CHIMIQUE OU COMPOSITION	DENSITÉ (1)	TEMPÉRATURE DE FUSION	TEMPÉRATURE D'ÉBULLITION	CHALEUR MASSIQUE (2)	COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE
MÉTAUX	Aluminium	Al	2,7	658°		0,225	0,000024
	Antimoine	Sb	6,71	630°		0,050	0, — 011
	Argent	Ag	10,53	960°		0,056	0, — 020
	Chrome	Cr	6,80	1 550°		0,120	
	Cobalt	Co	8,80	1 490°		0,104	
	Cuivre	Cu	8,90	1 090°		0,093	0, — 017
	Etain	Sn	7,30	232°		0,058	0, — 023
	Fer	Fe	7,85	1 535°		0,120	0, — 012
	Mercure	Hg	13,60	— 39°		0,033	
	Nickel	Ni	8,90	1 452°		0,109	0, — 013
	Or	Au	19,25	1 063°		0,031	0, — 014
	Platine	Pt	21,48	1 764°		0,038	0, — 009
	Plomb	Pb	11,37	327°		0,031	0, — 029
	Vanadium	V	5,60	1 725°		0,115	
	Zinc	Zn	7,19	419°		0,094	0, — 029
ALLIAGES	Acier	Fe, C	7,85	1 400°			0, — 012
	Fonte grise	Fe, C	7,2	1 230°			0, — 011
	Bronze	Cu, Sn	7,5-8,5	900°			0, — 018
	Bronze d'Alu.	Cu, Sn, Al	≈ 7,5	1 060°			
	Laiton	Cu, Zn	7,3-8,4	940°			0, — 019
MÉTALLOIDES	* Azote	N	0,97	— 210°	— 196°		
	Bismuth	Bi	9,80	271°			
	Brome	Br	3,18	— 7°	63°		
	* Chlore	Cl	2,49	— 102°	— 34°		
	* Hydrogène	H	0,07	— 259°	— 253°		
	Iode	I	4,95	184°			
	* Oxygène	O	1,11	— 218°	— 183°		
	Phosphore	P	1,83	44°	287°		
	Soufre	S	2,07	112°	445°		
CORPS COMPOSÉS	* Ac. Sulfureux	SO_2	2,27		— 10°		
	* Ac. Sulfurique	SO_4H_2	1,19				
	Ac. Chlorhydrique	HCl	1,27		110°		
	Alcool	C_2H_6O	0,79	— 130°	78°		
	* Ammoniac	NH_3	0,59		— 33°		
	Benzine	C_6H_6	0,90	5°			
	Eau	H_2O	(1)	0°	100°		
	Ether	$(C_2H_5)_2O$	0,73	— 117°	35°		
	* Gaz Carbonique	CO_2	1,59	— 56°	— 78°		
	* Méthane	CH_4	0,59		— 165°		
MÉLANGES	* Air	O, N	(1)		— 191°		
	Caoutchouc		0,98	120°			
	Essence		0,72				
	Graisse		0,94	30°			
	Houille	C	1,2-1,5				
	Huile de lin		0,95		387°		
	Pétrole		0,80		106°		

Chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température de 1kg de ce corps (en kilocalories) →

Allongement subi par l'unité de longueur d'un corps entre 0°C et 1°C →

DENSITÉ (δ) d'un corps { *Rapport entre les masses spécifiques du corps et de l'étalon*

SOLIDE. LIQUIDE $\delta = \frac{corps}{eau}$

GAZ $\delta = \frac{corps}{air}$

Nota: Les valeurs indiquées colonnes (1) et (2) s'entendent à 0°C sous la pression atmosphérique de 760 mm de mercure.

* Corps gazeux à 0°C

MATIERES PLASTIQUES		
NOM	NOM CHIMIQUE	COMP.
Bakélite	Phénol-formol	C_7H_8O
Nylon	Polyamide	$C_6H_{13}ON$
Pollopas	Urée-formol	$C_3H_6ON_2$
Plexiglass	Polyacrylates	$C_5H_8O_2$
Rhodopas	Polyacétate vinyle	$C_4H_6O_2$
Silicones	Silicones	$Si_nC_{2n}H_{6n}O_n$

ACHEVÉ D'IMPRIMER
LE 21 MAI 1981
SUR LES PRESSES DE
L'IMPRIMERIE HÉRISSEY
A ÉVREUX (EURE)

N° d'Éditeur : 5318
N° d'Imprimeur : 27672
Dépôt légal : 2e trimestre 1981